DU FROID THERMOMÉTRIQUE

ET DE SES RELATIONS

AVEC LE FROID PHYSIOLOGIQUE

DANS LES PLAINES ET SUR LES MONTAGNES

PAR

CHARLES MARTINS

PROFESSEUR D'HISTOIRE NATURELLE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MONTPELLIER.

(Extrait du Tome IV des Mémoires de l'Académie des Sciences de Montpellier, année 1859.)

MONTPELLIER

BOEHM, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE, PLACE DE L'OBSERVATOIRE.

1859

Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/b22297248

DU FROID THERMOMÉTRIQUE

ET DE SES RELATIONS

AVEC LE FROID PHYSIOLOGIQUE

DANS LES PLAINES ET SUR LES MONTAGNES.

Il est des questions qui ne peuvent être résolues que par le concours de deux sciences habituellement étrangères l'une à l'autre. L'étude du froid physiologique est une question de ce genre. En effet, pour comprendre l'influence du milieu ambiant sur l'organisme, la connaissance des phénomènes atmosphériques est indispensable, et d'un autre côté cette influence serait mal appréciée par un physicien dépourvu de toute notion touchant les fonctions organiques dont l'ensemble constitue la vie. Je prie donc les physiologistes de m'excuser si je suis forcé de m'appesantir sur des détails météorologiques, et les météorologistes de ne pas s'étonner si je les conduis sur le terrain de la physiologie. Personne aussi, je l'espère, ne blâmera les expressions de *froid thermométrique* et *froid physiologique* que j'ai empruntées au langage ordinaire. Sans doute le froid est relatif : une température de 60° est froide relativement à celle de 150° ; mais tout le monde a compris que par froid thermométrique j'entends les températures inférieures à zéro ou peu supérieures au point de congélation, et par froid physiologique, les sensations que nous éprouvons quand nous sommes exposés à ces températures.

On ne se fait pas généralement une idée nette des relations qui lient les

indications d'un thermomètre exposé à l'air libre, aux sensations de chaleur ou de froid que nous ressentons : on ne se rend pas compte de l'énorme différence qui existe entre un liquide dilatable contenu dans une enveloppe de verre, et un corps vivant producteur de chaleur et entouré de vêtements perméables ; on oublie souvent que les degrés thermométriques ne représentent pas des quantités de chaleur égales entre elles, ni égales pour tous les corps qui affectent le thermomètre ; on ignore que cet instrument ne nous donne qu'approximativement la température de l'air dont les molécules écartées l'une de l'autre agissent faiblement par leur température sur la cuvette du thermomètre ; on ne tient pas compte du rayonnement des corps solides et liquides environnants qui modifient toujours l'action du contact direct des molécules aériennes. Dans mes voyages, dans mes ascensions sur de hautes montagnes, dans mes observations météorologiques, je me suis constamment préoccupé de ce sujet ; j'ai toujours été surpris de constater à quel point la sensation de froid était indépendante des indications du thermomètre, et se compliquait d'éléments étrangers à l'abaissement de la température propre de l'air. Ces faits étant généralement peu connus ou mal appréciés, ma tâche principale sera de rapprocher des expériences, des observations, des théories appartenant à la physique et à la biologie, de signaler leurs relations, et de montrer ce que les physiologistes et les médecins peuvent conclure des indications thermométriques du froid, quant à l'impression que ce froid doit produire sur l'organisme vivant. Mon ami, M. le professeur Gavarret, a signalé la plupart de ces relations dans son excellent livre sur la *Chaleur animale* ; mais la nature même de cet ouvrage lui interdisait les détails dans lesquels je vais entrer.

La plupart des observations que je rapporterai ont été recueillies en commun avec M. Auguste Bravais, professeur de physique à l'École polytechnique et membre de l'Institut. Personne plus que moi ne sait combien ce mémoire eût gagné à ce que mon rôle eût été celui de simple collaborateur. Un travail excessif, des veilles prolongées, la perte d'un enfant chéri, ont éteint la puissante intelligence de mon ami ; je reste seul pour traiter un sujet qui fut souvent celui de nos entretiens, et élaborer une œuvre dont les matériaux avaient été rassemblés par nous. J'ai fait tous mes efforts pour ne pas être inférieur à la tâche que nous nous étions imposée.

Après avoir parlé des causes physiques et des effets physiologiques du froid dans la plaine, je traiterai séparément du froid sur les montagnes; de nouvelles causes physiques et de nouveaux phénomènes physiologiques, venant s'ajouter à ceux que l'on observe au niveau ou à une faible hauteur au-dessus de la mer.

PREMIÈRE PARTIE.

DU FROID DANS LES PLAINES.

DE LA TEMPÉRATURE THERMOMÉTRIQUE DE L'AIR A L'OMBRE OU PENDANT LA NUIT.

Pour analyser convenablement les indications d'un thermomètre exposé à l'air libre, il faut distinguer plusieurs cas et préciser les conditions diverses dans lesquelles il se trouve placé. Je ne ferai pas les suppositions auxquelles les physiciens ont recours pour expliquer ces effets si complexes, je ne parlerai pas d'enceintes idéales homogènes et privées d'air, je ne quitterai pas le terrain de l'observation et de la réalité : mais je distinguerai plusieurs cas : 1° lorsque l'air est calme et le ciel couvert ou serein ; 2° lorsque l'air est agité et le ciel clair ou nuageux.

La température de la couche inférieure dans laquelle l'homme se meut étant la plus intéressante à connaître, je suppose pour plus de simplicité une plaine sans arbres, sans édifices, sans murs, sans objets faisant saillie au-dessus du sol. Il fait nuit, l'air est parfaitement calme et le ciel couvert d'une couche de nuages uniforme. Quelles sont les influences auxquelles sera soumise la boule thermométrique échauffée préalablement dans son étui par le contact du corps de l'observateur ? Elle se refroidit d'abord par *conductibilité* au contact des molécules d'air dont la température est plus basse que la sienne. Puis, par *rayonnement*, car il s'établit immédiatement un échange de chaleur entre la cuvette du thermomètre et le sol, la couche de nuages

qui rayonne par elle-même et réfléchit la température terrestre, le bâton auquel l'instrument est suspendu, l'observateur qui lit ses indications, et même les particules aériennes qui ne sont pas en contact avec la cuvette. Le thermomètre émet et reçoit alternativement de la chaleur, cherchant à se mettre en équilibre avec tous ces corps de température si diverse qui l'entourent ; aussi ses indications varient-elles continuellement : elles sont l'expression de ce que les physiciens ont appelé si justement *l'équilibre mobile de la température*. Le degré marqué par le thermomètre à un instant donné n'est donc que la résultante de toutes les actions calorifiques auxquelles il est soumis. Parmi ces actions, la température des molécules aériennes joue un grand rôle ; mais tous les corps *vus* par la boule thermométrique jouent également le leur.

Changeons actuellement *une seule* des circonstances dans lesquelles se trouvait le thermomètre, et ses indications changeront également. Nous avons supposé le ciel couvert uniformément ; supposons-le parfaitement serein, comme il l'est par une belle nuit d'hiver ou d'été. La boule thermométrique échange toujours par rayonnement de la chaleur avec tous les objets dont nous avons parlé, excepté la couche de nuages. Celle-ci n'existant pas, c'est avec les parties supérieures de l'atmosphère et avec les espaces interplanétaires que l'échange a lieu. Or, tous les calculs des physiciens donnent à ces espaces une température prodigieusement basse, c'est-à-dire au-dessous de — 100° [1]. A cet échange, le thermomètre, on le conçoit, perd énormément, ainsi que les molécules d'air environnantes, le sol, l'observateur, etc. De là, un refroidissement considérable du thermomètre, dont la température s'abaisse au-dessous de celle de l'air ambiant, le verre étant un corps infiniment plus rayonnant que l'air, c'est-à-dire un corps qui émet beaucoup plus facilement la chaleur. Le rayonnement, comme nous le constatons, a joué un rôle considérable dans le refroidissement du thermomètre ; nous allons voir qu'il n'en est pas toujours ainsi.

Au lieu d'une nuit calme et sereine, supposons une nuit légèrement orageuse : le ciel est couvert ; un vent plus ou moins violent chasse les nuages et balaye la surface du sol. Le thermomètre est suspendu comme dans l'ex-

---

[1] Pouillet ; *Traité de physique*, 3e édit., tom. II, pag. 545.

périence précédente ; mais il se trouve dans un courant d'air continu, les molécules aériennes se renouvellent sans cesse autour de lui, le lèchent pour ainsi dire tour à tour, et lui enlèvent une portion de sa chaleur en se refroidissant à son contact. Au milieu de ces circonstances, le refroidissement dû au rayonnement est presque nul. Dans ce cas, et dans ce cas seulement, le thermomètre indique très-approximativement la température de l'air en mouvement [1]. Est-il besoin d'ajouter que dans la nature il est très-rare que les cas soient ainsi parfaitement tranchés : jamais l'air n'est longtemps complètement en repos ou animé d'une vitesse et d'une température uniformes, ce qui supposerait un vent constant, sans intermittences et sans changement de direction. L'agitation de l'air soutrayant jusqu'à un certain point le thermomètre à l'influence du rayonnement du sol, du ciel et des objets environnants, il faut, lorsque l'air est calme, produire autour de l'instrument un vent artificiel. Aussi avons-nous toujours employé, M. Bravais et moi, quand l'air était tranquille, un thermomètre à très-petite boule attaché à un cordonnet de 40 centimètres de longueur ; nous le tournions en fronde en marchant, afin de mettre la boule en contact avec un grand nombre de particules aériennes. En agissant ainsi, on obtient une température de l'air aussi approchée que le permet la ténuité d'un mélange gazeux et le voisinage de corps rayonnants.

Pour des physiciens, la démonstration de ces faits serait inutile, on les prouve par des expériences de cabinet ; mais j'ai pensé que la démonstration météorologique ne serait pas superflue : il est bon de montrer que les effets de la chaleur rayonnante et de la chaleur par conductibilité sur une cuvette thermométrique, sont aussi sensibles dans la nature que dans le laboratoire.

En 1844, nous avons fait, M. Bravais et moi, notre troisième série météorologique du 20 septembre au 3 octobre, sur le Faulhorn, montagne isolée du canton de Berne, dont le sommet s'élève à 2 683 mètres au-dessus de la mer [2]. Les circonstances étaient on ne peut plus favorables pour étudier

---

[1] Ces faits sont d'accord avec les expériences sur le refroidissement faites dans des circonstances artificielles. Voyez Dulong et Petit ; Recherches sur la mesure des températures. (*Journal de l'École polytechnique*, tom. XI, pag. 189 ; 1820.)

[2] Le lecteur trouvera cette série dans l'*Annuaire de la Société météorologique de France*, tom. III, pag. 118 ; 1850.

l'influence de la sérénité du ciel. En effet, à cette hauteur le rayonnement calorifique des objets terrestres vers le zénith est plus intense que dans la plaine, pour plusieurs raisons : 1° parce que la densité de l'air raréfié n'est plus que 0,75 de celui de la plaine ; 2° parce que la couche d'air qui sépare ces objets des espaces interplanétaires est moins épaisse de 2 683 mètres qu'au bord de la mer ; 3° enfin, parce que l'influence du sol est plus faible sur une montagne que dans la plaine, la surface qui rayonne vers le thermomètre étant moins étendue. Nous avions l'habitude de déterminer simultanément la température de l'air par deux procédés : 1° en lisant d'abord le thermomètre suspendu à l'air libre et en le tournant ensuite en fronde pendant quelques instants avant de noter ses indications. Ces observations se faisaient à cinq mètres au-dessous du sommet. J'ai choisi soixante observations de jour et de nuit : le ciel était serein dans les premières, couvert dans les secondes, et le vent nul ou modéré dans toutes. Je trouve que dans les premières le thermomètre *fixe* se tenait en moyenne de 0°,55 plus *bas* que le thermomètre *tourné en fronde*. Dans les secondes, le thermomètre fixe était en moyenne de 0°,11 plus *haut* que le thermomètre tourné en fronde. L'explication est facile et instructive : Lorsque le ciel est serein, la boule du thermomètre rayonnant vers les espaces célestes, sa température s'abaisse au-dessous de celle de l'air ; lorsque le ciel est couvert, cette même boule exposée au rayonnement des objets terrestres voisins et à celui des nuages, accuse une température plus élevée que celle de l'air. Dans les deux cas, en tournant le thermomètre en fronde on le met en contact avec un grand nombre de particules aériennes, et il prend, autant que faire se peut, la température propre de l'air. C'est donc un procédé auquel il faut toujours avoir recours quand on veut connaître cette température aussi exactement que possible[1].

Les thermomètres fixes, au moyen desquels on détermine le climat d'une localité, étant presque toujours placés au nord d'un édifice, et quelquefois à une hauteur considérable au-dessus du sol, donnent des indications trop

---

[1] Les mêmes expériences, faites à bord de la *Recherche*, dans les mers du Nord, du 14 juin au 14 juillet 1838, ont donné des résultats analogues ; seulement, avec un ciel serein comme avec un ciel couvert, le thermomètre fixe se tenait plus haut que le thermomètre tourné en fronde. (Voyez *Voyages de la commission du Nord en Scandinavie*, — *Météorologie*, tom. III, pag. 4.)

élevées, exposés qu'ils sont au rayonnement des murs, des toits, des gouttières, du sol, des arbres, qui tend toujours à élever la température. Ces mêmes objets s'opposent à leur rayonnement vers l'espace, qui, dans les nuits sereines, compenserait l'effet du rayonnement des objets terrestres; aussi les météorologistes instruits savent-ils très-bien que presque toutes les températures moyennes des villes sont trop élevées [1]. Pour le physiologiste, le médecin et l'horticulteur, cette exagération a moins d'importance; car l'homme, les animaux et les végétaux sont soumis, comme le thermomètre, à l'influence du rayonnement des objets terrestres et abrités plus ou moins contre le rayonnement zénithal. La seule condition qu'ils sont en droit d'exiger, c'est que les observations soient faites dans la couche inférieure de l'atmosphère où vivent les êtres organisés, et non pas sur des tours ou des édifices élevés, où les températures extrêmes sont notablement différentes de celles qu'on observe dans le voisinage du sol habité.

DU FROID PHYSIOLOGIQUE CHEZ L'HOMME.

J'appelle froid physiologique, non pas les abaissements de température que l'on peut constater dans quelques états anormaux, dans l'inanition par exemple [2]; c'est le nom de froid anormal ou pathologique qui convient à l'abaissement de température que le thermomètre constate dans ces états. Pour moi le froid physiologique, effet complexe des actions physiques du milieu ambiant modifiées par le jeu de nos organes, consiste dans une impression de froid reçue par la peau et dont nous avons la conscience. L'homme est un organisme producteur de chaleur; mais en même temps l'évaporation pulmonaire et cutanée lui enlève une portion de la chaleur produite. Différente dans les diverses parties du corps et légèrement variable suivant mille

---

[1] Renou; Instructions météorologiques. (*Annuaire de la Société météorologique de France*, tom. III, pag. 15; 1855.)

[2] Voyez Chossat; Recherches expérimentales sur l'inanition. (*Mémoires des savants étrangers à l'Institut*, tom. VIII, 1843, et *Annales des sciences naturelles*, 2e série, tom. V, pag. 181.) — Ch. Martins; Sur la température des oiseaux palmipèdes. (*Mémoires de l'Académie de Montpellier*, tom. III, pag. 189; 1856, et *Journal de physiologie* de M. Brown-Séquard, tom. I, pag. 10; 1858.)

circonstances, cette chaleur intérieure, diminuée du froid dû à la double évaporation dont nous avons parlé, se traduit à l'extérieur par une température qui, sous l'aisselle, est en moyenne de 37° environ[1]. Tel est le degré de chaleur thermométrique avec lequel nous avons à combattre l'impression du froid extérieur. Dans les régions favorisées du ciel, où l'homme trouve sa nourriture sur les arbres de la forêt, la chaleur est assez forte, pendant le jour, pour rendre tout vêtement superflu; mais, la nuit, le froid l'oblige à chercher un abri; il construit une cabane : c'est sa première défense contre le froid, le premier effort de l'industrie naissante. Bientôt il apprend à tisser des fibres végétales ou à conquérir la fourrure des animaux pour s'en revêtir; car, sur presque toute la surface du globe, le vêtement est une nécessité dans toutes les saisons, si ce n'est le jour, au moins la nuit. L'effet physique du vêtement est triple : 1° il emprisonne la couche d'air échauffée par la surface cutanée; 2° il s'oppose à une évaporation trop active; 3° il ralentit et atténue l'influence de l'air ambiant et du rayonnement des objets environnants sur la peau. Conserver autour du corps cette couche d'air échauffée, sans empêcher l'eau évaporée par la transpiration de s'échapper au dehors, tel est le problème du vêtement. Pour que la peau du tronc n'éprouve pas la sensation du froid, il n'est pas nécessaire que la température de cette couche d'air soit à 37°; mais si elle descend au-dessous de 30°, la plupart des personnes éprouvent la sensation du froid. D'un autre côté, si cette température s'élève au-dessus de 37°, il en résulte une sensation de chaleur désagréable, une transpiration plus ou moins abondante, suivant les individus; aussi l'expérience a-t-elle fait abandonner comme défense contre le froid les vêtements imperméables, tels que la toile cirée, le caoutchouc, etc. Le frère Morave Miertsching, qui accompagna le capitaine Maclure dans son expédition à la recherche de Francklin, pendant les années 1850 à 1853, dit expressément que ces vêtements sont incommodes et dangereux, même par les plus grands froids, parce que la sueur qu'ils provoquent se glace sur la peau, du moment où le repos succède à l'activité. Les vêtements perméables de laine sont les seuls dont on puisse faire usage lorsqu'on est en mouvement.

Supposons donc un homme convenablement vêtu, plaçons-le dans les

---

[1] Gavarret; *De la chaleur produite par les êtres vivants*, pag. 100.

diverses circonstances météorologiques que nous avons distinguées à propos du froid thermométrique, et essayons d'analyser les causes de la sensation de froid qu'il éprouvera. Nous admettons ce qui a lieu dans la réalité, savoir : qu'en s'habillant plus ou moins chaudement, il n'a pas pu prévoir toutes les causes de refroidissement auquel il sera exposé.

Examinons d'abord le premier cas. Le ciel est couvert et l'air calme : ces circonstances sont les plus favorables pour que la température de la couche d'air chaud qui environne le corps ne s'abaisse pas. En effet, l'air étant calme, il ne pénètre pas à travers les interstices des vêtements et ne renouvelle pas la couche d'air échauffée par le corps. Si l'individu se met à courir, il produit un vent artificiel; mais la génération plus abondante de chaleur physiologique, résultat de la course, compense cette cause de refroidissement, et il s'établit une moyenne entre la chaleur engendrée par la course, le renouvellement de la couche d'air emprisonnée sous les vêtements, et le froid dû à l'évaporation de la sueur. Par les sensations qu'il éprouve à la surface de la peau, l'individu juge s'il doit accélérer, ralentir ou même arrêter complètement sa course. Instinctivement tout le monde agit ainsi et s'habille différemment, suivant qu'il doit rester immobile ou marcher; chacun supplée à l'insuffisance du vêtement par la rapidité de la marche. Si l'individu est condamné à l'immobilité, la sensation de froid, malgré ces circonstances favorables, peut devenir très-pénible, même avec des températures supérieures à zéro. Je l'ai éprouvé plusieurs fois, lorsque je prenais avec la sonde les températures de la mer à de grandes profondeurs en face des glaciers de Magdalena-Bay au Spitzberg, par lat. N. 79° 34′. C'était au mois d'août 1839; la température de l'air oscillait entre 1° et 6° au-dessus de zéro. Je portais un double vêtement de laine, de grosses bottes, telles que celles dont se servent les hommes qui travaillent dans les égouts de Paris; mais je maniais constamment des thermomètres plongés dans l'eau de mer, dont la température était à quelques dixièmes seulement au-dessus de zéro [1], et j'étais obligé d'attendre une heure que les thermomètres à déversement de M. Walferdin, plongés au fond de la mer, en eussent bien pris la température. Malgré les mouvements

---

[1] *Voyages en Scandinavie de la corvette la* RECHERCHE. (*Géographie physique*, tom. II, pag. 279, et *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tom. XXV, pag. 172; 1849.)

que je faisais des bras et des jambes sur le banc du canot, je me refroidissais tellement, des pieds principalement, qu'ils devenaient douloureux et que j'étais forcé de me faire débarquer et de courir sur la plage pour me réchauffer. Le froid dont j'étais saisi était d'autant plus pénible que c'était un froid humide, puisque j'étais sur la mer et que, dans les régions boréales, l'air est presque constamment chargé de brouillards.

En analysant les conditions de la sensation du froid, il faut, en effet, tenir compte de l'état hygrométrique de l'air. Tout le monde le sait : la sensation du froid humide est bien différente de celle du froid sec, et ses effets sur l'économie le sont également. Parmi les causes connues, il y en a d'abord deux qui sont purement physiques. L'air saturé d'humidité contrarie l'évaporation de la sueur ; et comme cet air est en même temps meilleur conducteur de la chaleur, il refroidit rapidement cette sueur. Nous avons donc sur la peau la sensation du contact de l'eau froide, mais non pas cette sensation franche et saisissante suivie de réaction que produit l'application de linges mouillés, de la douche ou du *shauer-bath*, mais celle d'un air humide et froid. L'obstacle que l'air froid et humide oppose à l'évaporation est la cause la plus fréquente des affections catarrhales de la muqueuse nasale et bronchique. Un froid sec, même beaucoup plus intense, produit ces effets plus rarement, car il refroidit simplement la peau, mais favorise l'évaporation, au lieu de s'y opposer. Si je compare les effets des hivers de Paris et de ceux de Montpellier sur moi-même et sur les autres, je ne puis m'empêcher d'y voir la traduction pathologique des influences dont je parle. A Paris, froids humides par des vents de S.-O., ciel couvert, peu de différence entre la température du jour et de la nuit. A Montpellier, froids secs par des vents de N.-O., ciel serein, différences énormes entre la température du jour et celle de la nuit. A Paris, les affections bronchiques reconnaissent pour cause l'impression prolongée du froid humide agissant sur le corps et sur les pieds ; à Montpellier, des transitions brusques de température, soit en plein air, soit en entrant dans les maisons, dont la température est plus basse que celle de l'air libre, pendant le jour. A Paris, coryzas, bronchites sans fièvre, très-communes ; à Montpellier, catarrhes avec fièvre, brisement des membres, prostration des forces. Affection locale à Paris, générale à Montpellier. Ai-je besoin de dire que l'on voit des bronchites simples à Montpellier, et des

catarrhes compliqués de fièvre et connus sous le nom de *grippe* à Paris ? Cela est incontestable, mais les traits dominants sont ceux que j'indique, et je puis me citer moi-même comme exemple pour démontrer combien l'action du froid humide est différente de celle du froid sec. A Paris, une bronchite presque continue me tourmentait du mois de novembre jusqu'en mars ; à Montpellier, je ne m'enrhume que très-rarement, mais chaque fois que je vais à Paris en hiver, je paie mon tribut à l'atmosphère humide et froide de ma ville natale. L'état hygrométrique de l'air joue donc un très-grand rôle dans l'impression du froid, et, en arrêtant la transpiration cutanée, elle provoque une sécrétion plus énergique des muqueuses pulmonaires ou intestinales.

Plaçons-nous actuellement dans les circonstances météorologiques dont nous avons parlé en second lieu. Il fait nuit, l'air est calme et le ciel serein. Supposons un homme immobile, ses vêtements extérieurs rayonnent vers l'espace ; par conductibilité la chaleur perdue par l'enveloppe périphérique est remplacée par celle des enveloppes les plus intérieures, puis par celle de la couche d'air en contact avec la peau, il en résulte un refroidissement lent, d'abord insensible, mais continu ; c'est ainsi que se refroidissent les soldats au bivouac, les sentinelles qui s'endorment, etc. C'est un refroidissement par rayonnement. Je ne puis m'empêcher de signaler ici une contradiction apparente qui existe entre la nature des vêtements, et leurs effets comme enveloppes conservatrices de la chaleur du corps. La laine, les duvets, les fourrures, sont des corps très-rayonnants et cependant très-chauds, comme on dit vulgairement. Cela provient de ce que ces corps sont doués de deux propriétés très-opposées, celle d'émettre de la chaleur par leur surface, mais en même temps d'emprisonner dans leurs interstices une grande quantité d'air : or, l'air est de tous les corps naturels le plus mauvais conducteur de la chaleur; donc l'air emprisonné dans les mailles d'un tissu de flanelle, de laine, dans les interstices d'un duvet tel que celui de cygne ou l'édredon, ne conduisant pas la chaleur de la couche d'air échauffée par la peau, conserve cette chaleur avec le plus d'efficacité. Examinez les oiseaux palmipèdes, et en particulier l'*Anas Eider* qui fournit l'édredon ; ce duvet est en contact avec son corps, il contient entre ses mailles la couche d'air échauffée, mais cet édredon est couvert lui-même de plumes qui emprisonnent cet air chaud et l'empêchent de rayonner; aussi ai-je constaté que le froid est sans influence sur la tempé-

rature de ces animaux[1]. Suivant J. Davy[2], la température de l'homme paraît être influencée par les changements de climat. Mais l'homme porte un vêtement moins chaud que celui de la plupart des animaux, et si l'on voulait étudier l'influence des changements de température sur la chaleur intérieure des animaux, il faudrait choisir ceux dont le poil ras n'est pas un vêtement qui les abrite efficacement contre les variations de température.

Nous avons un troisième cas à examiner, c'est celui d'un homme exposé à un vent froid. Que le ciel soit couvert ou qu'il soit serein, la sensation sera la même à température égale; mais la violence, ou, en d'autres termes, la vitesse du vent aura une influence énorme. Son action est toute mécanique. Pénétrant à travers les mailles des tissus qui nous servent de vêtement, l'air froid se mêle sans cesse à la couche d'air chaud comprise entre les vêtements et la peau; il la remplace, la renouvelle et produit sur l'épiderme la sensation du froid. Les tissus imperméables sont une bonne défense contre ce mode de refroidissement, puisqu'ils arrêtent l'air extérieur et conservent la couche d'air échauffée par le corps; ils sont d'un excellent usage lorsqu'on est forcé de rester immobile ou qu'on ne fait que peu de mouvements. Aussi ont-ils été adoptés par les navigateurs et les chasseurs à l'affût qui ont à lutter contre ce genre de refroidissement. Les toiles cirées, les tissus en caoutchouc, la toile imbibée d'huile de lin, les peaux des animaux tels que la chèvre, l'ours, le mouton, le cuir, ont des avantages et des inconvénients que les voyageurs et les marins connaissent fort bien. Le problème est de trouver un tissu ou une peau qui soit perméable à l'air et imperméable à l'eau. La peau de chèvre sauvage appelée Bique et portée par les chasseurs et les marins bretons, m'a toujours paru réunir de grands avantages : elle est imperméable à l'air froid et la pluie coule en gouttelettes le long de ses poils graisseux sans atteindre le cuir.

L'air en mouvement produit la sensation du froid pour peu que sa température soit inférieure à 15°, parce qu'à partir de ce degré la température de l'air extérieur comparée à celle de notre vêtement d'air chaud,

---

[1] Mémoire sur la température des oiseaux palmipèdes. (*Mémoires de l'Académie des sciences de Montpellier*, tom. III, pag. 189; 1856, et *Journal de physiologie*, tom. I, pag. 23; 1858.)

[2] *Annales de physique et de chimie*, 2e série, tom. XXXIII, pag. 181.

est asssez basse pour la modifier d'une manière pénible. Aussi l'homme soigneux de sa santé a-t-il soin de consulter autant la girouette et le mouvement des corps légers emportés par le vent, que son thermomètre, pour savoir comment il doit se vêtir. J'en appelle sur ce point à l'expérience individuelle du lecteur, mais je ne puis m'empêcher de citer quelques cas personnels où le contraste entre la température du même air, relativement tranquille, ou en mouvement, a été tellement grand que j'en ai conservé le souvenir. Quand nous naviguions dans la mer du Nord, dans notre traversée du Hâvre à Drontheim en Norvège, nous fîmes quelques expériences, M. Bravais et moi, pour déterminer la différence de la température de l'air au niveau des bastingages et sur la grande hune du navire. Lorsque le vent soufflait avec force et que je montais dans la mâture, il me semblait que mes vêtements m'étaient enlevés l'un après l'autre, et, parvenu dans la hune, j'aurais affirmé que j'avais aussi froid que si j'avais été tout nu; mais lorsqu'en redescendant je sautais sur le pont et me trouvais abrité du vent par les bastingages de la corvette, j'éprouvais un sentiment de bien-être, comme si j'étais entré dans une chambre bien chauffée; cependant la température de l'air du pont n'était supérieure à celle du vent qui soufflait dans la hune, que d'un ou deux dixièmes de degré; nous étions en juin et le thermomètre se tenait aux environs de dix degrés au-dessus de zéro. C'est le violent exercice auquel se livrent les gabiers pour carguer ou larguer les voiles, et surtout pour prendre des ris lorsqu'il vente grand frais, qui les préserve des affections qu'entraînent les changements brusques de température, et pour eux le pont est, dans les intervalles des manœuvres, une chambre qui leur semble avoir été chauffée.

Tous les explorateurs des régions arctiques ont fait les mêmes observations que moi. Alexandre Fisher [1], chirurgien en second de l'une des expéditions de Parry dans les régions septentrionales de l'Amérique, rapporte que les matelots trouvaient le froid plus supportable avec air *calme* à — 17°,8 qu'avec une légère brise à — 6°,7. Fisher a observé sur lui-même que, dans une atmosphère calme à — 46°,1, il n'éprouvait pas une sensation de froid plus pénible que lorsqu'il était exposé à une brise de — 17°,8.

---

[1] Gavarret; *De la chaleur produite par des êtres vivants*, pag. 505.

La Sibérie serait un pays inhabitable en hiver, si l'air n'y était pas d'un calme parfait par les grands froids. Tous les voyageurs sont unanimes pour dire que les voyages n'ont rien de pénible par des températures de — 20° à — 30°, lorsque le corps est enveloppé de bonnes fourrures. Il ne peut se refroidir que par rayonnement, et le mouvement du traîneau produit un vent artificiel qui neutralise en partie cet effet.

Lorsque le thermomètre descend au dessous de — 40°, degré de la congélation du mercure, l'inspiration de cet air glacial cause une pénible sensation dans le poumon, comme Wrangel l'a éprouvé en Sibérie; il devient alors nécessaire de le tamiser en entourant la bouche et les narines de fourrures ou d'une étoffe de laine; l'air extérieur traversant une couche d'air échauffée avant de pénétrer dans les bronches, sa température s'élève de quelques degrés. Néanmoins, c'est un curieux phénomène physiologique de constater combien l'homme et les animaux sont peu sensibles à l'inspiration de l'air froid : la muqueuse bronchique en est moins affectée que la peau. Cela tiendrait-il à ce que l'inspiration qui introduit l'air froid est suivie d'une expiration accompagnée d'une exhalation d'eau et d'acide carbonique ? L'évaporation de l'eau et la dilatation du gaz sont une nouvelle cause réfrigérante pour l'arbre bronchique; mais elles tendent à égaliser la température de l'air expiré avec celle de l'air inspiré, et, par conséquent, à soustraire la muqueuse pulmonaire à des changements brusques de température qui pourraient l'impressionner péniblement. Je n'émets là qu'une idée ; c'est à l'expérience directe à décider ce qu'elle a de fondé.

DE LA TEMPÉRATURE THERMOMÉTRIQUE DE L'AIR ET DU SOL AU SOLEIL.

Le soleil est l'unique source de chaleur pour l'atmosphère dans laquelle nous sommes plongés, et lorsque nous prenons la température de l'air à l'ombre ou pendant la nuit, c'est le degré d'échauffement communiqué directement ou indirectement par les rayons solaires aux molécules aériennes que nous cherchons à mesurer. Mais, outre la chaleur qu'il communique aux parties aériennes, le soleil échauffe encore par son rayonnement tous les corps liquides et solides qu'il éclaire à la surface du globe. Cet échauffement direct, produit par les ondulations calorifiques qui ont traversé l'espace et l'atmos-

phère, est indépendant de la température propre de l'air, mais modifié par des circonstances que nous allons énumérer.

1° *La hauteur du soleil.* — Les physiciens démontrent que l'échauffement d'une plaque métallique par un foyer de chaleur placé en face d'elle est proportionnel au sinus de l'angle formé par la plaque et les rayons incidents. Le maximum a lieu quand les rayons sont perpendiculaires à cette plaque, le minimum lorsqu'ils lui sont parallèles. Une portion peu étendue de la surface terrestre, un myriamètre carré par exemple, pouvant être considérée comme parfaitement plane, elle se trouve, par rapport au soleil, dans la même position que la plaque vis-à-vis du foyer. Par conséquent, l'échauffement produit par le soleil sera, toutes choses égales d'ailleurs, plus considérable dans les pays où le soleil est plus près du zénith ; il ira sans cesse en diminuant de l'équateur vers le pôle. Dans les contrées boréales, le soleil s'élève à peine au-dessus de l'horizon, et ses rayons obliques sont impuissants à réchauffer l'air et le sol. Sous l'équateur, au contraire, l'astre s'écarte très-peu du zénith ; il darde perpendiculairement ses rayons sur la terre, qu'il inonde de chaleur et de lumière.

Les saisons reconnaissent pour cause l'inclinaison de l'axe terrestre vers le soleil. Pour l'Europe, l'été est la période de l'année où la partie septentrionale de cet axe à laquelle correspond l'hémisphère de même nom est penchée vers le soleil, qui nous paraît alors plus haut ; l'hiver est la période pendant laquelle l'axe est penché du côté opposé au soleil, qui nous paraît alors moins élevé au-dessus de l'horizon. En été les rayons solaires s'approchent de la verticale, en hiver ils s'en éloignent. En été ils sont moins obliques à la surface terrestre, en hiver ils le sont davantage ; de là, les chaleurs de l'été et les froids de l'hiver. Ainsi, la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon dans le milieu du jour étant différente dans les quatre périodes de l'année, produit les quatre saisons. La température modérée du printemps et de l'automne provient de ce que l'axe de la terre n'est pas incliné vers le soleil dans ces deux périodes. Ce qui se passe dans le cours de l'année se reproduit en abrégé dans le cours de la journée. L'inclinaison du soleil varie suivant les heures : elle atteint son maximum à midi, et l'échauffement de l'air et du sol suit une marche dépendante de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

2° *L'absorption de la chaleur solaire par l'atmosphère.* — L'atmosphère forme autour du globe terrestre une couche concentrique dont l'épaisseur a été estimée à 100 kilomètres environ. A l'équateur, quand le soleil est au zénith, les rayons traversent cette couche suivant la verticale et arrivent à la terre par le plus court chemin. Mais il est évident que dans ce trajet ils perdent toute la chaleur qui est employée à échauffer l'air qu'ils pénètrent. Cette perte est considérable ; M. Quetelet [1] a calculé d'après ses expériences, faites avec l'actinomètre d'Herschel, que dans ce trajet direct 1/3 des rayons calorifiques sont absorbés, les 2/3 seulement arrivent à la terre [2]. Ainsi, un thermomètre placé aux limites de l'atmosphère accuserait une chaleur plus forte d'un tiers que le même instrument plongé dans la couche inférieure de l'air. M. Pouillet [3], employant un pyrhéliomètre de son invention, a calculé que l'atmosphère absorbe près de la moitié de la chaleur envoyée par le soleil à la portion de la terre qu'il éclaire dans un moment donné. Si l'on représente par 1 la chaleur solaire aux limites de l'atmosphère, la quantité absorbée est de 0,4, et par conséquent celle reçue par la terre de 0,6. Les rayons obliques du soleil nous réchauffent donc moins que les rayons qui se rapprochent de la verticale, pour deux raisons : d'abord parce qu'ils sont obliques, et ensuite parce qu'ils traversent une couche atmosphérique plus épaisse. Ces deux motifs nous expliquent la différence prodigieuse qui existe entre les climats terrestres. Au-delà du cercle polaire, les rayons obliques du soleil sont sans force. Malgré la présence continuelle de l'astre au-dessus de l'horizon pendant une partie de la belle saison, ils n'échauffent ni l'air ni le sol ; un exemple suffira : Je passai les dix premiers jours d'août 1839 à Magdalena-Bay, au Spitzberg, par latitude 79° 34′ N. Le soleil ne se couchait pas, sa hauteur moyenne au-dessus de l'horizon *à midi*, était de 27° 23′ ; l'air, habituellement brumeux, ne laissait apercevoir le ciel que dans quelques rares éclaircies ; le 1er et le 7 il tomba de la neige. La température moyenne de l'air fut de 2°,42 ; le *maximum moyen*, véritable ex-

---

[1] *Climat de la Belgique, Rayonnement solaire,* pag. 13.

[2] M. Pouillet estime l'absorption à 0,24.

[3] *Éléments de physique expérimentale*, 3e édit., pag. 535, et *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*, tom. VII, pag. 25; 1838.

pression de la chaleur, 3°,79 ; jamais le thermomètre ne dépassa 5°,7. La température moyenne du sol à 0m,35 de profondeur et au soleil, fut de 1°,45 ; le maximum moyen 1°,71 et le maximum absolu 2°,8.

A l'observatoire de Bruxelles, situé par 50°51′ de latitude N., la longueur des jours était à la même époque de 14h50m, la hauteur du soleil de 56°5′. La température moyenne de l'air, malgré un ciel habituellement couvert, fut de 17°,65, et celle du sol de 17°,71. Ainsi, pour une différence de 28°43′ en latitude, nous avons une différence de 15°,21 pour la température de l'air, et de 16°,28 pour celle du sol à 0m,35 de profondeur. Que serait-ce si je comparais ces températures avec celles de points situés entre l'équateur et le tropique du Cancer ! On voit que dans les contrées boréales, où le soleil tourne autour de l'horizon, sans se coucher pendant les mois d'été, son action calorifique est néanmoins bien faible à cause de l'obliquité de ses rayons et de la fréquence des brumes. Malgré sa présence constante, les plantes, les animaux et les hommes sont à peine réchauffés par ses pâles rayons ; mais plus on s'avance vers l'équateur plus son influence se fait sentir, malgré la brièveté croissante des jours. A partir du 45e degré de latitude, également distant du pôle et de l'équateur, le règne organique semble se réveiller, les espèces végétales et animales sont plus nombreuses, l'homme vit pour ainsi dire en plein air et ne cherche un abri que pour la nuit ; plus on avance vers le Sud, plus l'influence du soleil devient prédominante ; sa chaleur, associée à l'action de l'eau, produit la végétation luxuriante des tropiques ; mais, dans les pays privés de pluie et de rosée, l'aridité des steppes ou du Sahara.

DU RÉCHAUFFEMENT PHYSIOLOGIQUE PAR LES RAYONS SOLAIRES.

Tout le monde a éprouvé par soi-même l'action calorifique des rayons solaires, lorsque l'air est calme : alors, en effet, les vêtements, puis la couche d'air interposée entre eux et la peau, sont peu à peu échauffés. La couleur et la nature des vêtements jouent ici un rôle considérable : les vêtements en laine de couleur foncée absorbent infiniment mieux la chaleur que ceux de toile de couleur blanche ; aussi l'homme a-t-il adopté dans tous les climats les premiers pour l'hiver, les seconds pour l'été. Les enveloppes métalliques polies, dont le pouvoir absorbant est presque nul, seraient un vêtement détestable

dans toute saison, et les chirurgiens militaires savent que la cuirasse incommode les cavaliers qui en sont revêtus, autant par ses propriétés thermiques que par son poids. La température de l'air traversé par les rayons solaires a peu d'influence sur leurs propriétés échauffantes, qui dépendent de l'épaisseur d'atmosphère traversée. Que de fois j'ai souffert de la *chaleur* sur les glaciers ou sur les neiges des Alpes; tandis que, sur ceux du Spitzberg, j'étais toujours transi de *froid*. La température de l'air était la même, mais l'action calorifique du soleil ne l'était pas [1].

---

[1] Les météorologistes ont généralement renoncé à mesurer la chaleur du soleil en exposant un thermomètre à ses rayons. On le comprend aisément. Lorsque les rayons du soleil nous arrivent à travers un air pur, nous sommes dans la position d'un homme placé devant un foyer de chaleur. Une partie des rayons est absorbée par l'air, ceux qui ne le sont pas arrivent à la boule du thermomètre qu'elles échauffent; celle-ci est donc exposée à trois influences différentes: le contact des particules d'air, les rayons solaires, et la chaleur solaire réfléchie par tous les corps environnants. Toutes ces influences se combattent à chaque instant et font varier de plusieurs degrés les indications de l'instrument. Je suppose l'air parfaitement calme, le mercure se dilate, la colonne s'allonge et reste un instant stationnaire; mais que le plus léger souffle d'air s'élève, le thermomètre redescend immédiatement de plusieurs degrés. Au milieu de ces oscillations continuelles, l'observateur ne sait à quelle indication s'arrêter, d'autant plus que le soleil n'étant pas immobile dans le ciel, l'épaisseur de la couche atmosphérique qu'il traverse varie continuellement dans une même journée. On pourrait, il est vrai, choisir pour chaque jour l'instant de midi; mais un midi ne sera pas comparable à l'autre, parce que l'état du ciel et l'agitation de l'air ne seront jamais les mêmes dans deux midis consécutifs.

C'est par l'échauffement du sol que les météorologistes mesurent l'intensité de la radiation solaire; car cet échauffement donne pour ainsi dire la somme de chaleur reçue par lui dans un temps donné.

DEUXIÈME PARTIE.

DU FROID SUR LES MONTAGNES.

Bouguer[1] et de Saussure[2], qui tous deux ont fait des observations si consciencieuses, l'un dans les Cordillères et l'autre sur les Alpes, éprouvaient de la difficulté à se rendre compte des causes du froid dans les montagnes ; ils avaient seulement entrevu les principales. Grâces aux découvertes de la physique moderne, nous sommes en état d'en reconnaître quelques autres, sans pouvoir toutefois faire la part exacte de chacune d'elles dans le phénomène du décroissement de la température avec la hauteur. Avant d'examiner les causes du froid, étudions d'abord l'action des rayons solaires et le mode d'échauffement du sol et de l'air des sommets élevés.

DE L'ÉCHAUFFEMENT DU SOL ET DE L'AIR SUR LES HAUTES MONTAGNES.

DE LA CHALEUR DES RAYONS SOLAIRES.

Nous avons déja vu (pag. 18) que l'atmosphère absorbe une partie de la chaleur que le soleil envoie à la terre. Par conséquent, le rayon calorifique qui tombe sur un sommet élevé de 3000 mètres, par exemple, traversant une moindre épaisseur d'atmosphère que celui qui descend jusqu'au bord de la mer, doit être plus chaud, toutes choses égales d'ailleurs, que ce dernier rayon qui plonge jusque dans la plaine. L'expérience confirme ce que le raisonnement indique. De Saussure[3] employait un héliothermomètre de son invention. Il consiste dans une boîte en bois doublée intérieurement de plaques de liége noirci, fermée par trois lames de verre et renfermant un thermomètre. Cet instrument fut exposé au soleil au sommet du Cramont, à

---

[1] *Voyages au Pérou*, pag. 51.
[2] *Voyages dans les Alpes*, chap. XXXV.
[3] *Ibid.*, § 932.

2 735 mètres au-dessus de la mer, de 2^h 12^m à 3^h 12^m, le 16 juillet 1774. Le thermomètre, dans l'intérieur de la boîte, s'éleva à 70° R. ; un autre thermomètre exposé au soleil en plein air marqua 5° R.

Le lendemain, à Courmayeur, situé au pied de la montagne et à 1 495 mètres au-dessous du sommet, à la même heure et dans les mêmes circonstances, le thermomètre dans la boîte ne monta qu'à 69° R., c'est-à-dire un degré de moins que sur le Cramont, tandis que celui qui était à l'air libre au soleil marquait 19° R., savoir 14° de plus que sur la montagne. Malgré les objections que la physique moderne pourrait faire à cette expérience, elle prouve néanmoins que la chaleur des rayons solaires est indépendante de la température de l'air, et au moins aussi forte sur la montagne que dans la plaine.

Nous avons fait, M. A. Bravais et moi, des expériences comparatives sur le grand plateau du Mont-Blanc, à 3 930 mètres au-dessus de la mer, avec le pyrhéliomètre à lentille de M. Pouillet. M. Camille Bravais observait au même instant à Chamounix avec un autre pyrhéliomètre à lentille soigneusement comparé au premier. La différence de niveau des deux stations est de 2 890 mètres. Le 28 août 1844, par un temps parfaitement serein, l'heure moyenne étant 2^h 17^m, la hauteur du soleil de 43° 21′, la chaleur due au soleil fut de 1°,22 sur le grand plateau, et de 1°,09 à Chamounix [1]. Au grand plateau, la température de l'air à l'ombre, prise avec un thermomètre tourné en fronde, fut de — 2°,2 ; le même thermomètre fixe exposé aux rayons du soleil marquait + 1°,2. Au même instant, à Chamounix, la température de l'air était de 19°,0 à l'ombre et de 20°,7 au soleil. Cette expérience prouve, comme celle de de Saussure, que l'échauffement solaire est plus fort sur la montagne, quoique la température de l'air fût de 22°,2 plus basse que dans la vallée.

L'expérience suivante faite le 31 août donne une différence encore plus grande pour la chaleur des rayons solaires; l'heure moyenne est 8^h 8^m du matin, la hauteur du soleil 28° 10′, la chaleur due au soleil 1°,18 sur le grand

---

[1] Les observations pyrhéliométriques ont été calculées d'après la méthode de M. Pouillet, telle que M. A. Bravais l'a développée dans les *Voyages en Scandinavie; Météorologie*, tom. III, pag. 337.

plateau, et à Chamounix 0°,87 seulement. Au grand plateau le thermomètre marquait à l'ombre — 4°,1; à Chamounix, M. Camille Bravais lisait au même instant 12°,0 à l'ombre, et 15°,6 au soleil. En résumé, dans les deux expériences la chaleur solaire a été plus intense de 0°,15 dans la première, et de 0°,31 dans la seconde, sur la montagne que dans la plaine. Si cette différence paraît insignifiante à quelques lecteurs, au moins admettront-ils que les rayons solaires avaient une force calorifique aussi grande dans l'air froid et raréfié du grand plateau, que dans l'air plus dense et plus chaud de Chamounix.

DE L'ÉCHAUFFEMENT DU SOL DES HAUTES MONTAGNES.

Les physiciens connaissent toutes les objections qu'on peut adresser à l'héliothermomètre de de Saussure, à l'actinomètre d'Herschel et aux deux pyrhéliomètres de M. Pouillet; mais la nature nous offre un moyen d'apprécier directement l'action échauffante du soleil, en plaçant des thermomètres à la surface et à une certaine profondeur dans le sol. Nous avons ainsi l'avantage de mesurer l'échauffement du corps le plus influent sur la température de la couche inférieure de l'atmosphère où vivent les êtres organisés.

Les observations de température du sol des montagnes prouvent qu'il s'échauffe relativement beaucoup plus que l'air; tandis que dans la plaine la température moyenne de l'air est presque toujours supérieure à celle du sol. Je vais essayer de le prouver par l'observation directe. En 1842, Peltier et Auguste Bravais ont fait, du 10 au 18 août, une série d'observations météorologiques bihoraires au sommet du Faulhorn, à 2 680 mètres au-dessus de la mer; la température moyenne de l'air à l'ombre a été de 6°,67, celle du sol à la surface de 9°,51, et à un décimètre de profondeur de 10°,02. La moyenne du sol était donc supérieure à celle de l'air de 3°,1. Le *maximum moyen*, véritable expression de la chaleur, met encore mieux en évidence l'échauffement du sol; en effet, tandis que le maximum moyen des neuf jours n'est pour l'air que de 8°,99, il s'élève à 13°,07 pour la couche à un décimètre de profondeur, et à 19°,48 pour la surface.

Les précieuses séries bihoraires de l'Observatoire de Bruxelles m'apprennent que pendant la même période du 10 au 18 août 1842, la température moyenne de l'air a été de 21°,63, celle du sol observée à midi 20°,22 à la

surface, et de 20°,13 à un décimètre de profondeur. Ainsi à Bruxelles, l'air était en moyenne un peu plus chaud que le sol, tandis qu'il était notablement plus froid sur le Faulhorn.

On aurait tort de supposer que ces différences peuvent dépendre de la hauteur du soleil et de la longueur des jours qui n'étaient pas rigoureusement les mêmes à Bruxelles et sur le Faulhorn ; car leur durée moyenne est, à cette époque, de quatorze heures au Faulhorn et la hauteur moyenne du soleil à midi de 57° 40′. A Bruxelles, la durée du jour moyen était plus longue d'une demi-heure seulement, et la hauteur du soleil 53° 28′.

Pour contrôler les nombres précédents, je compare encore les lectures faites à *neuf heures du matin* à Bruxelles et au Faulhorn, des températures de l'air et du sol pendant les neuf jours. Je trouve les nombres suivants :

Température moyenne à neuf heures du matin, du 10 au 18 août 1842.

		Air.	Sol surface.	Sol à 0m,1.
Faulhorn : Altitude	2 680m.	7°,18	16°,25	9°,18
Bruxelles : Altitude	50m.	21°,37	20°,10	20°,01

On le voit, tandis que les températures de l'air diffèrent aux deux stations de 14°,39, celles du sol ne diffèrent que de 3°,85 à la surface, et de 10°,83 à la profondeur d'un décimètre. Donc, l'échauffement relatif du sol est infiniment plus considérable sur la montagne que dans la plaine.

On pensera peut-être que cet échauffement prodigieux du sol des montagnes n'a lieu que dans le fort de l'été, et ne se continue pas dans l'arrière-saison. Il n'en est point ainsi. Une autre série météorologique, faite par M. Bravais et moi au sommet du Faulhorn, du 21 septembre au 1er octobre 1844, nous en donne la preuve. La température moyenne de l'air a été 3°,15; celle de la surface du sol 5°,89, et à 0m,25 de profondeur 5°,48. Malgré l'obliquité des rayons du soleil, dont la hauteur moyenne à midi était de 42° 24′, et des jours de douze heures seulement, l'échauffement relatif de la surface du sol fut encore plus intense qu'en été ; car, tandis que le maximum moyen de l'air ne dépasse pas 6°,01, celui de la surface du sol atteint 20°,32.

A Bruxelles, la même année et pendant la même période, la hauteur moyenne du soleil étant à midi de 38° 12′, et la durée du jour de 11 heures

45 minutes, M. Quetelet et ses aides trouvaient pour la température moyenne de l'air 11°,56 ; pour celle du sol au sud et à la surface 11°,27, et à 0m,25 de profondeur 12°,53. En automne, comme en été, nous voyons qu'à Bruxelles la surface du sol s'échauffe moins que l'air, tandis qu'elle s'échauffe deux fois plus au Faulhorn. A la profondeur de 0m,25, le sol n'était que d'un degré plus chaud que l'air à Bruxelles ; au Faulhorn, la différence dépassait deux degrés.

Mais, dira-t-on, le sommet du Faulhorn touche à la limite des neiges éternelles ; la moyenne annuelle de l'air est inférieure à zéro. Bruxelles, au contraire, jouit d'un climat tempéré : ces deux localités ne sont donc pas parfaitement comparables. Quoique l'objection ne soit pas fondée, je choisis une localité située au bord de la mer, où la température moyenne de l'année est de + 0°,50 seulement, et où le sol, comme sur le Faulhorn, n'est dépouillé de neige que pendant trois mois de l'année : c'est Bossekop, en Laponie. Je profite d'une série météorologique faite avec le plus grand soin par MM. Lottin, Bravais, Lillihoeck et Siljistroem ; elle comprend les dix derniers jours de septembre 1838, et correspond donc parfaitement à la série du Faulhorn en 1844. Le petit tableau suivant met les chiffres en regard :

Bossekop; latitude 70° 0′ N., altitude 10m.....	Air.....	7°,55.
	Sol, à 0m,2 :	5°,58.
Faulhorn; latitude 46° 40′ N., altitude 2 680m..	Air.....	3°,44.
	Sol, à 0m,25 :	5°,50.

A Bossekop, au bord de la mer, la température de l'air est supérieure à celle du sol encore libre de neige ; au Faulhorn c'est le contraire. Par une singulière coïncidence, les températures du sol sont sensiblement les mêmes 5°,58 et 5°,50. Mais à Bossekop cette température correspond à une température de l'air de 7°,55 ; sur le Faulhorn elle n'est que de 3°,44. Je n'oublie pas que le soleil était plus haut et les journées un peu plus longues au Faulhorn qu'à Bossekop[1]. Néanmoins, sous le 70e degré, comme dans les

[1] Hauteur moyenne du soleil à midi : Faulhorn, 38° 12′ ; Bossekop, 19° 6′. Durée du jour : Faulhorn, 12h ; Bossekop, 11h 15m.

latitudes moyennes, l'air s'échauffe plus que la surface du sol : toutefois, dans le Nord, la chaleur du sol à huit mètres de profondeur est un peu supérieure à la moyenne annuelle de l'air. M. A. Bravais[1] a mis hors de doute ce fait remarquable de physique du globe, déjà soupçonné par Wahlenberg et de Buch au commencement du siècle.

Je rappellerai enfin comme dernier point de comparaison, les observations déjà citées (pag. 18) de Magdalena-Bay au Spitzberg, par 70°34′ de latitude septentrionale. A cette latitude, on peut dire réellement que la limite des neiges perpétuelles est au bord de la mer, car elles ne fondent au fort de l'été que sur quelques talus inclinés et tournés vers le Midi ; partout ailleurs elles descendent jusqu'au rivage. Les conditions sont donc parfaitement comparables à celles du Faulhorn, puisque la limite générale des neiges éternelles dans les Alpes est à 2 708 mètres[2]. Le sommet du Faulhorn, qui s'élève à 2 683 mètres, touche à cette limite. Malgré cette analogie dans les circonstances physiques et climatologiques, au Spitzberg la température du sol à $0^m,35$ au-dessous de la surface du sol était inférieure d'un degré à celle de l'air.

A la profondeur d'un mètre, la température du sol sur le Faulhorn se rapprochait de celle de l'air. En 1835, M. G. Bischof, professeur à Bonn, avait fait creuser un trou vertical de $1^m,1$ de profondeur, garni intérieurement de planches et dont l'orifice était à 2 670 mètres au-dessus de la mer. En 1841 j'y plaçai à demeure un thermomètre à alcool entouré de corps mauvais conducteurs. Au-dessus de l'instrument le trou était rempli de foin et recouvert d'une planche et d'une grosse pierre. Quatre lectures échelonnées du 19 juillet au 8 août 1841, m'ont donné pour température moyenne $2^o,66$; celle de l'air pendant la même période étant de $3^o,10$. Le même thermomètre descendu dans le même trou marquait le 1er octobre 1844, après y être resté plusieurs jours, $4^o,00$; la température moyenne de l'air des onze jours précédents étant de $3^o,15$. On reconnaît qu'en juillet et août la température du sol à $1^m,1$ de profondeur était inférieure de $0^o,44$ à celle de l'air ; fin septembre elle lui était supérieure de $0^o,85$.

Je désirais me faire une idée de l'échauffement relatif du sol à la hauteur

---

[1] *Voyages en Scandinavie* ; *Météorologie*, tom. III, pag. 259.

[2] A. de Humboldt ; *Asie centrale*, tom. III, le tableau, pag. 359.

de 3 930 mètres. La roche n'étant pas à découvert, mais ensevelie sous la glace et la neige, j'avais emporté de Paris du sable siliceux de Fontainebleau, afin d'opérer sur une substance parfaitement comparable. Ce sable était contenu dans une grande boîte en carton. Je couchais un thermomètre sur la surface, de façon que sa boule fût légèrement recouverte de sable. Neuf observations faites le 30 et le 31 août 1844, entre neuf heures du matin et quatre heures du soir, m'ont donné les résultats suivants : la température *moyenne* du sable exposé au soleil a été de 12°,3 ; celle de l'air à l'ombre étant — 3°,1. Le plus grand écart entre le sable et l'air a été observé à dix heures du matin, il s'est élevé à 23°,1 ; le moindre, à quatre heures du soir, 6°,9. Ces observations confirment celles faites sur le sommet du Faulhorn, à 1 250 mètres plus bas ; elles nous montrent que l'échauffement du sol par le soleil décroît infiniment plus lentement avec la hauteur, que celui de l'air qui se trouve en contact avec lui.

Cet échauffement relativement si notable de la surface du sol, exerce une puissante influence sur la géographie physique des hautes Alpes ; c'est lui qui relève la limite des neiges éternelles, dont la fusion est due principalement à l'échauffement du sol. Tous les voyageurs qui ont abordé ces hautes régions savent que, dans les Alpes, les neiges fondent principalement en dessous, par l'effet de la chaleur de la terre. Souvent, quand on met le pied sur le bord d'un champ de neige, le poids du corps fait rompre une croûte superficielle qui ne repose pas sur le sol, dont la chaleur a fondu la couche de neige en contact avec lui. Quelquefois le voyageur aperçoit avec étonnement sous ces voûtes glacées, des soldanelles (*Soldanella alpina* L. et *S. Clusii* Thom.) en fleurs, et les rosettes de feuilles du vulgaire pissenlit. Il n'en est pas de même au Spitzberg, où le bord du champ de neige repose toujours sur le sol. C'est encore la fonte des neiges au contact du sol qui détermine le glissement de ces champs de neige qui forment les avalanches du printemps ; enfin, c'est cet échauffement qui nous explique la variété d'espèces végétales et le nombre d'individus qui couvrent le sol à la limite même des neiges éternelles. Étant toutes herbacées, elles n'enfoncent leurs racines que dans la couche superficielle du sol, précisément celle qui, comme nous l'avons vu, s'échauffe si fortement au soleil. La couleur noire du terreau végétal favorise encore l'absorption de la chaleur ; aussi, sur le cône

terminal du Faulhorn, dont la hauteur est de 80 mètres et la superficie de 4 hectares et demi, ai-je recueilli 131 espèces phanérogames. L'île entière du Spitzberg, longue de cent lieues et large de cinquante, n'en renferme que 82. Aux Grands-Mulets, rochers de protogine schisteuse surgissant au milieu des glaciers du Mont-Blanc, à 3 050 mètres au-dessus de la mer, et par conséquent à 340 mètres *au-dessus* de la limite des neiges perpétuelles, j'ai encore pu cueillir 19 phanérogames [1]. Mais aussi, le 28 juillet 1846, la température de l'air à l'ombre étant à 9°,4, au soleil à 11°,4, celle du gravier schisteux dans lequel végétaient ces plantes s'élevait à 29°,0.

Dans les Alpes, les plantes sont chauffées par le sol qui les porte plus que par l'air qui les baigne, et une vive lumière favorise leurs fonctions respiratoires, principalement la décomposition de l'acide carbonique de l'air. Dès que la température s'approche de zéro pendant le jour, une couche de neige récemment tombée les préserve des froids accidentels qui, même au fort de l'été, accompagnent toujours le mauvais temps sur les hautes montagnes. Également sensibles au froid et à la chaleur, elles ne peuvent supporter de grands écarts de température; sans cesse humectées par les nuages ou arrosées par les eaux qui s'écoulent des neiges fondantes, elles exigent pour prospérer dans les plaines les soins les plus minutieux : l'horticulteur doit les défendre contre les froids de l'hiver et les préserver des chaleurs de l'été, veiller à ce que l'air et le sol ne soient ni trop humides ni trop secs, sans néanmoins les soustraire à l'influence de la lumière qui colore leurs fleurs de teintes si belles et si variées. Au Spitzberg, au contraire, malgré le jour perpétuel de l'été, la végétation est pauvre et clairsemée parce que les rayons obliques du soleil, absorbés en partie par la grande épaisseur d'atmosphère qu'ils traversent, n'ont le pouvoir ni d'éclairer ni d'échauffer cette terre glacée.

On trouve à de grandes élévations dans les Alpes, au Faulhorn à 2 680 mètres, sur le Rothhorn à 2 250 mètres, dans la vallée d'Urseren de 1 600 à

---

[1] Ce sont : *Draba fladnisensis*, Wulff; *Cardamine bellidifolia*, L.; *Silene acaulis*, L.; *Potentilla frigida*, Vill.; *Phyteuma hæmisphericum*, L; *Erigeron uniflorum*, L.; *Pyrethrum alpinum*, Willd.; *Saxifraga bryoides*, L.; *S. groenlandica*, L.; *S. muscoides*, Auct.; *Androsace helvetica*, Gaud.; *A. pubescens*, DC.; *Gentiana verna*, L.; *Luzula spicata*, DC.; *Festuca Halleri*, Vill.; *Poa laxa*, Haencke; *P. cæsia*, Sm.; *Agrostis rupestris*, All.; *Carex nigra*, All.

2 400 mètres, aux Grands-Mulets à 3 050 mètres, et même suivant Hugi[1], sur le col de la Strahleck à 3 150 mètres, et sur le Finster-Aarhorn à 3 900 mètres, un campagnol auquel j'ai donné le nom[2] de Campagnol des neiges (*Arvicola nivalis*). Cet animal ne tombe pas en léthargie et ne descend pas dans la plaine en hiver; il passe la mauvaise saison dans des terriers qui ne s'enfoncent pas au-delà de trois décimètres dans le sol. Comment y vivrait-il si la température du sol s'abaissait beaucoup au-dessous de zéro? Mais la terre conserve sous la neige la chaleur qu'elle a acquise pendant l'été: le 2 octobre 1844, veille de la chute des premières neiges, elle était de 4°,67.

DE L'ÉCHAUFFEMENT DE L'AIR DES HAUTES MONTAGNES.

Si le sol s'échauffe presque autant sur la montagne que dans la plaine, il n'en est pas de même de l'air. Nul physicien ne s'en étonnera. Sa raréfaction étant d'autant plus grande qu'on s'élève davantage, il absorbe beaucoup moins la chaleur des rayons solaires directs ou réfléchis, que l'air plus dense des régions inférieures; il s'échauffe donc fort peu, quoique les rayons solaires soient relativement plus chauds à une certaine élévation dans l'atmosphère qu'au niveau de la mer. Mais il y a une autre raison que Bouguer et de Saussure avaient déjà parfaitement comprise[3]. L'air s'échauffe principalement par le contact et le rayonnement du sol préalablement chauffé par le soleil. Or, dans la plaine, la couche d'air est en contact avec une surface pour ainsi dire illimitée qui lui communique sa température; sur un sommet pointu et isolé comme le Faulhorn, au contraire, la surface en contact avec l'air étant de peu d'étendue et limitée, sa puissance calorifique l'est également; aussi est-il très-probable que sur des plateaux élevés, la différence entre la température du sol et celle de l'air est moindre que sur des sommets isolés. Une autre cause s'oppose au réchauffement de l'air par le sol sur un sommet isolé; c'est son renouvellement incessant. Dans les vallées, quand l'atmosphère est tranquille, la couche d'air inférieure s'échauffe au conctact

---

[1] *Das Wesen der Gletscher*, pag. 41; 1842.

[2] Voyez, pour les détails, deux notes sur l'*Arvicola nivalis*. (*Annales des sciences naturelles*, 2e série, tom. XIX, pag. 87, 1843; et 3e série, tom. VIII, pag. 193; 1847.)

[3] *Voyages dans les Alpes*, § 932.

du sol jusqu'à ce que l'équilibre soit rompu et qu'un courant ascendant s'établisse et entraîne l'air chaud. Cependant le phénomène du mirage nous prouve que, dans les plaines, la couche inférieure, échauffée et moins dense que les supérieures, reste pour ainsi dire adhérente à la surface du sol. Il n'en est pas de même le long des flancs d'un pic isolé, où la pression des couches supérieures est moindre, et où l'air glisse le long des pentes échauffées par le soleil ; c'est un phénomène dont on est témoin presque tous les matins quand on séjourne sur un sommet. Lorsque le temps est beau, les vapeurs de la plaine s'élèvent régulièrement du fond des vallées dans la matinée, et montent peu à peu vers les sommets qu'elles enveloppent souvent de nuages dans le milieu du jour.

En résumé, pour toutes les raisons que nous avons données, l'air doit s'échauffer moins que le sol sur un sommet élevé ; nous allons voir bientôt qu'il doit également se refroidir infiniment plus que l'air des plaines. Ces causes réunies nous expliqueront le phénomène du froid sur les montagnes.

DES CAUSES PHYSIQUES DU FROID SUR LES HAUTES MONTAGNES.

DU RAYONNEMENT NOCTURNE.

En 1844, j'entrepris avec M. A. Bravais des observations sur le rayonnement nocturne, à l'aide de l'instrument de M. Pouillet désigné sous le nom d'actinomètre à duvet de cygne [1]. Nous avions choisi deux stations élevées, le sommet du Faulhorn et le grand plateau du Mont-Blanc. M. Camille Bravais eut la complaisance de faire des observations correspondantes à Brienz et à Chamounix. Voici les résultats qu'Auguste Bravais a déduits de ces expériences comparatives [2]. L'actinomètre sur le Faulhorn était à 2 680 mètres au-dessus de la mer, celui de Brienz à 570 mètres : différence de niveau 2 110 mètres. Si on compare, aux deux stations, les indications du thermomètre à l'air libre avec celles du thermomètre placé sur le duvet de cygne et rayonnant vers le zénith, on trouve que, sur la montagne, le thermomètre de l'actinomètre se tenait en moyenne à 6°,27 *au-dessous* de celui de l'air ;

---

[1] *Traité de physique*, 4e édit., tom. II, pag. 607 ; 6e édit., tom. II, pag. 684.

[2] *Voyages en Scandinavie de la corvette* LA RECHERCHE, tom. III, pag. 312.

dans la vallée, la différence ne s'élevait qu'à 4°,62. D'après cela, le rayonnement du duvet de cygne à Brienz est au rayonnement du duvet de cygne sur le Faulhorn, dans le rapport de 1 à 1,36. Les mêmes expériences, répétées au grand plateau du Mont-Blanc (altitude 3 930 mètres) et à Chamounix (altitude 1 050 mètres), différence de niveau 2 880 mètres, montrent que le thermomètre de l'actinomètre s'abaissait au-dessous de la température de l'air de 10°,82 en moyenne au grand plateau; de 5°,62 seulement à Chamounix. Le rapport du rayonnement zénithal de la vallée est à celui de la montagne comme 1 : 1,98, c'est-à-dire qu'un corps se refroidit deux fois plus par rayonnement au grand plateau qu'à Chamounix.

Ces expériences comparatives montrent : 1° que le rayonnement est infiniment plus fort sur la montagne que dans la plaine ; 2° que le rapport des rayonnements croît plus rapidement que la hauteur dans les régions supérieures de l'atmosphère. En effet, pour une différence de niveau de 2 110 mètres comprise entre les altitudes de 570^{m} et 2 680^{m}, le rayonnement est plus intense d'un tiers seulement ; mais pour une différence de niveau de 2 880 mètres comprise entre 1 050 et 3 930, il est de 1,98, c'est-à-dire presque double.

Du rayonnement nocturne du sol. — Après avoir obtenu le rapport des rayonnements dans la plaine et sur la montagne à l'aide d'un corps dont le pouvoir émissif est très-grand, étudions celui du sol même de la montagne. Pour en donner une idée, je note ici comparativement la température moyenne de l'air, celle du sol à la surface et celle du duvet de cygne de l'actinomètre observées par MM. Peltier et A. Bravais au sommet du Faulhorn, pendant les nuits calmes et sereines du 12 au 18 août 1842 :

Température de l'air.....	5°,04
Température du sol à la surface.....	2°,63
Température du duvet de cygne.....	—5°,09

On voit que le sol se refroidit par rayonnement plus que l'air, mais moins que le duvet de cygne, dont la température était à 8°,13 au-dessous de celle de l'air et à 5°,72 au-dessous de celle du sol.

La comparaison des *minima moyens* de l'air et du sol du Faulhorn, dans les *nuits* du 10 au 18 août 1842, et du 21 septembre au 1er octobre 1844, nous montre également combien la surface du sol se refroidit plus que l'air

par rayonnement. Dans la première série, le minimum moyen de l'air est 4°,60; celui de la surface du sol 2°,40. Dans la seconde, le minimum moyen de l'air se maintient encore au-dessus de zéro à 1°,53; celui de la surface du sol descend à — 0°,82. Dans les deux saisons le refroidissement nocturne de la surface du sol s'élève au double de celui de l'air déterminé au moyen d'un thermomètre à petite boule tourné en fronde [1]. Ce refroidissement si notable du sol pendant la nuit est une preuve indirecte de son échauffement pendant le jour; il faut, en effet, que cet échauffement soit bien considérable pour compenser le rayonnement de la nuit et élever la moyenne du sol au-dessus de celle de l'air. Du reste, quand on y réfléchit, ce refroidissement du sol sur un sommet isolé tel que le Faulhorn, n'a rien qui doive nous étonner. Dans une plaine, la terre n'est en contact qu'avec la couche inférieure de l'atmosphère; un sommet au contraire plonge pour ainsi dire dans la mer aérienne, il est entouré d'une couche d'atmosphère égale à son élévation au-dessus du pays environnant, il rayonne non-seulement vers le zénith, mais encore latéralement suivant tous les azimuts, et l'air raréfié qui l'entoure favorise l'émission de la chaleur. Tout, sur une haute montagne, concourt à son refroidissement dans la nuit et rien ne le compense, sauf l'échauffement relatif plus fort que nous avons signalé pendant le jour.

Rayonnement de la neige des hauts sommets. — Toutes les observations que nous avons rapportées s'appliquent au sol des hautes montagnes dépouillé de neige et couvert de gazon; mais le rayonnement de la neige elle-même est encore plus considérable. En été, la neige se présente sur les hautes montagnes sous deux états : 1° l'état de *nevé*, c'est la neige qui, fondant le jour et s'imbibant d'eau puis regelant la nuit, forme une surface durcie sur laquelle on marche sans enfoncer; mais lorsqu'il tombe de la neige sur des sommets assez elevés pour qu'elle ne fonde plus, alors

---

[1] Une seule observation faite au grand plateau du Mont-Blanc, à 3 930 mètres d'altitude, sur le rayonnement de sable de Fontainebleau, montre combien il est considérable, même lorsque le soleil est encore au-dessus de l'horizon. Le 31 août 1844, à 5 heures 10 minutes du soir, le grand plateau étant depuis une heure dans l'ombre de l'aiguille du Goûté, un thermomètre librement suspendu dans l'air marquait — 5°,6; celui légèrement recouvert de sable — 11°,4, et un autre à la surface de la neige — 17°,0. Cette expérience confirme celles du Faulhorn.

elle reste à l'état pulvérulent, poussiéreux, et l'on enfonce dans cette neige jusqu'aux genoux, comme si l'on marchait dans la farine. Lorsque nous fîmes notre dernière ascension du Mont-Blanc, le 28 août 1844, cette espèce de neige couvrait les glaciers à partir de 3 470 mètres, hauteur du rocher de l'*Heureux retour*, où de Saussure[1] avait adossé sa cabane lors de son ascension au Mont-Blanc : cette neige datait de la nuit du 15 au 16 août, elle couvrait le grand plateau où nous séjournâmes pendant trois jours, après être redescendus de la cime. Le pouvoir émissif de cette neige poussiéreuse est plus grand que celui du duvet de cygne ; car, tandis que le thermomètre de l'actinomètre se tenait en moyenne à 10°,82 au-dessous de celui exposé à l'air libre, un thermomètre couché à la surface de cette neige et légèrement recouvert par elle, marquait 12°,30 au-dessous de celui exposé à l'air libre. A minuit, dans les quatre nuits des 28, 29, 30 et 31 août, ce thermomètre est descendu en moyenne à — 19°,20, l'air étant à — 6°,45. Les moyennes générales du jour et de la nuit nous donnent — 4°,52 pour l'air et — 9°,9 pour la température de la couche de neige à *deux décimètres* au-dessous de la surface. A cette profondeur, jamais sa température ne s'est élevée au-dessus de — 8°,2, et, chose fort singulière, à la surface elle a atteint + 1°,0 le 31 août à midi. Ce prodigieux pouvoir rayonnant est une cause puissante de refroidissement pour les hautes montagnes où il neige tous les mois de l'année. On n'ose calculer quelle doit être en hiver la température de cette neige lorsque celle de l'air descend à — 30° par exemple. Si les rapports sont les mêmes, la neige par une nuit calme et sereine doit marquer à la surface — 45°. La neige pulvérulente refroidit donc énormément les corps solides qu'elle touche, l'air qui la baigne et celui vers lequel elle rayonne.

La neige floconneuse qui tombe sur le sol et le recouvre pendant l'hiver dans les contrées boréales, n'a pas le pouvoir émissif que nous avons constaté pour la neige pulvérulente du grand plateau. Les météorologistes de la Commission du Nord[2] ont constaté qu'à Bossekop la température de la neige n'était qu'à 1°,5 au-dessous de celle de l'air. Même en tenant compte de la dif-

---

[1] *Voyages dans les Alpes*, § 1979.

[2] *Voyages en Scandinavie; Météorologie*, tom. III, pag. 310.

férence de niveau de 3 930 mètres, qui triplerait presque le pouvoir émissif de la neige des plaines, ce pouvoir émissif n'en serait pas moins très-inférieur à celui de la neige pulvérulente des hautes montagnes, que les physiciens rangeront désormais parmi les corps les plus rayonnants de la nature. Ce genre de neige tombe aussi quelquefois dans les plaines par de très-grands froids, mais rarement, car il ne neige pas lorsque le froid est intense. La neige est, en général, floconneuse et passe, par le tassement et des fusions partielles, à un état qui ressemble beaucoup à celui du *nevé* des hautes Alpes.

REFROIDISSEMENT DU SOL ET DE L'AIR DES MONTAGNES DU A L'ÉVAPORATION.

La pression étant moindre sur une haute montagne que dans la plaine, l'évaporation, toutes choses égales d'ailleurs, y est plus active. De Saussure l'a prouvé expérimentalement [1] par des essais dont les résultats numériques sont attaquables, mais dont la conclusion générale ne saurait l'être. Cette évaporation plus active est encore une cause de froid pour le sol et l'air qui le touche ; elle donne lieu à un phénomène très-rare dans la plaine, fréquent dans les hautes régions, et désigné par Peltier [2] sous le nom de *fumage des montagnes*. Lorsque la terre est humide, on voit des brumes, tantôt blanches, tantôt grises, sortir, pour ainsi dire, des flancs de la montagne, et s'élever dans l'air comme si l'on avait allumé des feux sur plusieurs points. Quelquefois ces brumes se dissipent dans l'atmosphère, d'autres fois elles continuent à monter et forment de véritables nuages. Je les ai observées avec des fractions de saturation [3] déterminées à l'aide du psychromètre et variant de 47 à 92 pour cent. Peltier a montré que leur production s'accompagnait d'une forte tension électrique. En tout cas, ce fumage est l'indice d'une évaporation active, même dans un air humide ; elle l'est infiniment plus lorsque l'air est sec ; or, sur les montagnes, il acquiert un degré de sécheresse bien rare dans les plaines. En voici quelques exemples : les 4, 5 et 6 août 1841, M. Bravais observait sur le Faulhorn et moi à Brienz, au bord du lac ; la

---

[1] *Voyages dans les Alpes*, § 2058.

[2] *Météorologie électrique*, pag. 31.

[3] On obtient ces nombres en observant deux thermomètres, l'un sec, l'autre mouillé. Le nombre 47 veut dire que l'air contenait 47 pour cent de la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour le saturer à la température indiquée par le thermomètre sec.

fraction de saturation sur la montagne descendit à 28, à Brienz elle ne fut jamais au-dessous de 44. Du 21 au 24 septembre 1844, le minimum d'humidité relative fut de 52 sur la montagne, 74 dans la vallée. La différence fut encore bien plus considérable entre le grand plateau du Mont-Blanc et Chamounix. Au grand plateau nous eûmes un jour 13, tandis qu'à Chamounix le minimum fut de 50. En moyenne l'humidité relative, du 28 août au 1er septembre 1844, fut de 38 sur le grand plateau ; à Chamounix de 82.

Il ne faudrait pas conclure de ces nombres qu'il fait habituellement plus sec sur un sommet élevé que dans la plaine : il en est presque toujours ainsi lorsqu'on monte sur une montagne par un beau jour; mais quand on y séjourne, on voit qu'en moyenne l'humidité relative est au moins aussi forte dans la région des nuages. Ainsi, du 21 juillet au 7 août 1841, la fraction de saturation fut de 79 sur le Faulhorn. En prenant celle des villes de Berne, Zurich, Genève et Milan, qui exprime bien l'état hygrométrique du pays plat environnant, je trouve 77; donc une humidité relative, sinon moindre, du moins égale. En résumé, nous ne possédons pas de séries psychrométriques correspondantes assez longues pour pouvoir trancher la question : celles faites avec des hygromètres à cheveu ne sauraient servir, car ces instruments ne sont pas comparables entre eux. Mais deux choses sont démontrées : l'évaporation plus active sur les sommets élevés; de là, des sécheresses de l'air inconnues dans la plaine lorsqu'il fait beau ; par les mauvais temps, des saturations complètes de l'air comme dans la plaine, quand il pleut ou que le sommet est entouré de nuages. Pendant les derniers jours de 1844, nous avons employé l'hygromètre chimique de M. Regnault, formé de tubes en U remplis de pierre ponce imbibés d'acide sulfurique et communiquant avec un aspirateur ; nous avons donc pesé la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, et nous sommes assurés que dans certains nuages humides l'air était réellement sursaturé. Nous discuterons dans la partie physiologique de ce chapitre, l'influence de ces grandes variations hygrométriques sur l'organisme humain.

REFROIDISSEMENT DU A LA DILATATION DE L'AIR DES COURANTS ASCENDANTS.

Il est un phénomène dont tous les météorologistes ont été frappés dans leurs ascensions sur les hautes montagnes, et que Ducarla avait déjà signalé vers la

fin du siècle dernier[1]. Dans la matinée des belles journées, au lever du soleil, les vallées sont couvertes de brumes tandis que le ciel est serein; bientôt ces brumes, d'abord immobiles, se mettent en mouvement et montent le long des flancs de la montagne. Tantôt elles se dissipent avant d'atteindre le sommet d'où l'observateur les contemple, tantôt elles l'atteignent, l'enveloppent à son tour, puis s'élèvent au-dessus de sa tête sous forme de nuages. Ces brumes sont entraînées par les courants d'air ascendants qui s'établissent lorsque le soleil échauffe le sol de la plaine et les flancs de la montagne. L'air au contact du sol échauffé se dilate, devient spécifiquement plus léger et monte le long des contreforts frappés par les rayons solaires. De Saussure sur le col du Géant[2], Kaemtz[3], Bravais, Peltier et moi sur le Faulhorn, avons souvent été témoins de ce phénomène. Auguste Bravais en a fait l'objet d'une communication[4] au Congrès scientifique de France de 1841. Le 2, le 5 et le 7 août en particulier, nous avons vu des nuages s'élever le long des flancs de presque toutes les montagnes visibles pour nous; le matin ils montaient le long du versant oriental, et dans l'après-midi le long du contrefort occidental. A mesure qu'il s'élève ainsi, l'air soumis à une moindre pression se dilate et absorbe la quantité de chaleur nécessaire à cette dilatation; de là une cause de froid que les météorologistes n'ont pas encore signalée. Si elle n'existait pas, l'air chaud des plaines remontant le long des flancs des montagnes les réchaufferait sensiblement; mais loin de là, en se dilatant lui-même, il emprunte de la chaleur à tous les corps environnants et l'annihile en la faisant passer à l'état latent; d'où production de froid. Si la portion d'air échauffée s'élevait au milieu d'une atmosphère dont la température fût uniforme, la dilatation de la portion ascendante serait uniquement fonction de la pression. Mais il n'en est pas ainsi, les couches à travers lesquelles l'air chaud s'élève sont de plus en plus froides; ce froid empêche l'air échauffé de se dilater comme il le ferait dans un milieu de température

---

[1] Objets de recherches extraits d'un manuscrit sur les vents. (*Journal de physique*, tom. XXXII, pag. 72 et 89; 1788.)

[2] *Voyages dans les Alpes.*

[3] *Cours de météorologie*, traduction française, pag. 114.

[4] *Sur les courants ascendants de l'atmosphère*, 1842.

uniforme, de là une moindre production de froid. D'un autre côté, l'air glisse le long des flancs de la montagne qui, comme nous l'avons vu (p. 23), ont une température plus élevée que celle de l'air ambiant. Au contact de ces contreforts, l'air ascendant s'échauffe, se dilate, et cet effet compense largement la contraction due à la décroissance de la température des couches atmosphériques. Soumettre au calcul toutes les causes complexes de refroidissement, de réchauffement, de contraction et de dilatation auxquelles est soumise une colonne d'air qui s'élève de la plaine le long de la montagne, me paraît chose impossible; dans l'état actuel de la science, les éléments mêmes des calculs n'existent pas; mais en l'absence d'expériences dues à des physiciens, j'ai voulu me faire une idée du froid produit par la dilatation de l'air, en reproduisant autant que possible les conditions dans lesquelles se trouve une masse d'air chaud qui s'élève dans l'atmosphère.

Grâces à l'obligeance de M. le docteur Bertin, j'ai eu l'avantage d'utiliser les beaux appareils à air comprimé établis à Montpellier par M. Tabarié. Chacun d'eux se compose d'un cylindre formé de plaques de tôle boulonnées : ce cylindre a une hauteur de $2^m,20$ sur un diamètre de $1^m,60$, sa capacité est de 4,3 mètres cubes, il contient donc 4300 litres d'air. Une porte appuyant sur un rebord en caoutchouc se ferme par l'action même de la pression atmosphérique intérieure; au dedans le cylindre est éclairé par quatre grandes lucarnes formées chacune de deux glaces épaisses superposées. Une machine à vapeur fait mouvoir la pompe, qui comprime l'air dans le cylindre et permet d'augmenter la pression à volonté; le robinet d'écoulement se trouve en dehors de l'appareil, et un manomètre permet de voir à chaque instant quelle est la pression de l'air dans le cylindre. J'avais donc à ma disposition un appareil contenant un volume d'air considérable que je pouvais dilater lentement, après l'avoir comprimé de $0^m,300$ en sus de la pression atmosphérique de 759 millimètres, moyenne de celles avec lesquelles j'ai opéré[1].

Voici comment je procédais à l'expérience : après avoir observé le baromètre, pour estimer la pression atmosphérique initiale, je suspendais dans l'appareil, en face d'une lucarne bien éclairée, un thermomètre à très-petite

[1] Les extrêmes ont été 754 et 764 millimètres.

boule, et, laissant la porte ouverte, j'attendais que la température de l'air intérieur fût équilibrée avec celle de l'air de la grande salle au milieu de laquelle l'appareil est placé. Je prenais également la température de l'air extérieur que la machine à vapeur va puiser à l'extérieur de l'édifice. Puis je me plaçais en dehors de l'appareil, près de la lucarne derrière laquelle le thermomètre était suspendu. Je le lisais avec une loupe, de manière à estimer parfaitement les dixièmes de degré. Un aide était posté près du manomètre de l'appareil, pour m'avertir, de 50^{mm} en 50^{mm}, de l'augmentation de la pression. Je marquais la température de l'air intérieur un instant avant qu'on commençât à le comprimer. Puis la machine à vapeur se mettant en jeu, l'air se comprimait, et je notais la température de 50^{mm} en 50^{mm} entre la pression moyenne de 759^{mm} et celle de $1^{m},059$. Cette opération a duré moyennement $10^{m}\,18^{s}$. Arrivé à la pression de 300^{mm} en sus de la pression atmosphérique, je faisais jouer la machine doucement, afin de maintenir un moment la pression à $1^{m},059$ et donner le temps au thermomètre de prendre bien la température correspondante[1]; puis je faisais ouvrir aussi peu que possible le robinet communiquant avec l'extérieur. L'air comprimé s'échappait en produi-

---

[1] Pour l'objet de ce mémoire, je n'ai point à discuter l'accroissement de la température, résultat de la compression de l'air. Il est représenté par la courbe supérieure de la *planche*. Cependant elle donne lieu à quelques remarques. L'accroissement de la température, d'abord rapide, se ralentit dès que la pression a atteint 909^{mm}. Trois causes de refroidissement interviennent alors d'une manière sensible : 1° le froid produit par l'air qui s'échappe inévitablement par des fissures invisibles. Ces fissures existent; car, dès que la machine cesse de jouer, la colonne manométrique descend, quoique très-lentement; 2° l'influence de l'air de la salle qui, ayant conservé la température initiale, est plus froid que l'air échauffé par la pression dans l'intérieur de l'appareil, et agit sur lui à travers les parois métalliques du cylindre; 3° celle des parois métalliques de l'appareil. L'action de ces trois causes réunies devient tellement efficace, qu'elle finit par annihiler l'effet calorifique de la compression de l'air, et par amener dans la majorité des cas un abaissement de température entre $1^{m},000$ et $1^{m},059$ de pression atmosphérique. Pour éliminer l'influence de l'air de la salle, qui était plus froid de deux à trois degrés, lorsque la pression atteignait 909^{mm}, j'ai entouré l'appareil de matelas de laine; le thermomètre intérieur a néanmoins baissé de $0^{\circ},2$ pendant que la pression augmentait de $1^{m},007$ à $1^{m},057$. Dans cette expérience, cet abaissement ne pouvait être attribué à l'influence de l'air qui entourait l'appareil, mais seulement à la conductibilité des parois métalliques elles-mêmes qui se réchauffent rapidement aux dépens de l'air comprimé. C'est aux physiciens à déterminer quelle est la courbe d'accroissement des températures de l'air comprimé, indépendamment de ces causes perturbatrices.

sant un petit sifflement, et je marquais la température du thermomètre renfermé dans l'appareil, de 50mm en 50mm de pression, depuis 1m,059 jusqu'à 759mm. Cette opération a duré en moyenne 21m 36s. En laissant ainsi l'air se dilater lentement, je cherchais à imiter autant que possible la dilatation graduelle d'une certaine masse d'air s'élevant le long des pentes d'une montagne dont les flancs sont échauffés par le soleil.

Le Tableau suivant et la courbe inférieure de la Planche montrent que la dilatation de l'air, dont la pression descend lentement de 1m,059 à 1m,009, produit un froid considérable qui ramène d'abord cet air à la température initiale, puis abaisse encore plus sa température; mais le froid produit n'est pas proportionnel à la diminution de la pression, il est d'autant moindre qu'on s'approche plus de 759mm. La température de l'air comprimé étant inférieure à celle de l'air de la salle qui environne l'appareil à partir de 959mm de pression, je me suis demandé si l'air extérieur ne réchauffait point l'air contenu dans l'appareil. J'étais d'autant plus en droit de le craindre, que les parois du cylindre sont en tôle épaisse garnie seulement d'une tapisserie de papier à l'intérieur. D'un autre côté, le volume considérable (4300 litres) de l'air me rassurait. Mais pour résoudre définitivement cette question, j'entourai, dans la dixième expérience, l'appareil de dix matelas de lit qui évidemment s'opposaient à toute influence de l'air extérieur. Le refroidissement total 6°,0 obtenu dans cette expérience, entre les pressions de 1m,057 et 757mm, représente à peu de chose près la moyenne 6°,31 des treize expériences dont je déduis les résultats numériques inscrits sur les deux courbes. L'influence de l'air extérieur est donc parfaitement négligeable. Mais ce qui ne l'est pas, c'est l'influence des parois métalliques dont la température est celle de l'air qui environne l'appareil. En vertu de leur conductibilité, elles *refroidissent* l'air intérieur quand sa température croît avec la pression, et elles le *réchauffent* quand sa température décroît avec la pression. Cette influence est continue, permanente et d'autant plus marquée, que la température de l'air dilaté s'éloigne davantage de la température initiale, qui est celle des parois métalliques. (Voy. la courbe Planche.) Pour m'affranchir autant que possible de cette influence, j'ai fait deux expériences en abrégeant considérablement le temps pendant lequel l'air intérieur se dilate; pour cela, j'ai ouvert largement le robinet d'écoulement lorsque la pression

était à son *maximum;* l'air s'est échappé brusquement; un léger brouillard s'est produit dans l'appareil, et le thermomètre est descendu de 6°,0, nombre qui ne diffère que de 0°,3 de la moyenne des treize expériences dans lesquelles l'écoulement de l'air a été aussi lent que le permettait la structure du robinet d'écoulement. Le Tableau (p. 42) contient les températures que j'ai obtenues dans les treize expériences. Sur les courbes de la Planche je n'ai inscrit que les différences moyennes, en faisant la température initiale égale à zéro.

Quoique j'aie fait ces observations avec tout le soin imaginable, je n'ai point la prétention de les assimiler aux expériences rigoureuses à l'aide desquelles les physiciens déterminent la chaleur spécifique des gaz; mais, agissant sur un volume d'air considérable, qui se dilatait lentement à mesure que la pression diminuait, j'ai reproduit autant que possible ce qui se passe dans la nature, et je crois pouvoir en conclure que l'air chaud des plaines, en s'élevant sur les montagnes, est une cause de refroidissement et non de réchauffement, comme on pourrait le supposer; ainsi une certaine masse d'air dont la pression diminue de 300^{mm} ou, en d'autres termes, qui s'élève à 4000 mètres environ au-dessus de la mer, se refroidit *au moins* de 6°,3 ou de 1° pour 633 mètres : en effet, mes expériences ne peuvent donner qu'un *minimum*. Quoique le thermomètre fût à très-petite boule et par conséquent très-sensible; quoiqu'il s'écoulât en moyenne 3^{m} 36^{s} pour une diminution de pression de 50^{mm}, ses indications étaient en retard des abaissements de la température de l'air dilaté, et à la fin de l'expérience, son minimum, lorsque la pression était retombée à 759^{mm}, se trouvait supérieur à celui de l'air qui avait eu le temps de se réchauffer sensiblement; donc, pour une différence de 300 millimètres de pression, le refroidissement doit être plus considérable. Cette cause d'erreur vient s'ajouter à celle due à l'influence des parois métalliques; car elle agit dans le même sens en *abaissant* le maximum de chaleur dû à la pression, et en *élevant* le minimum de température dû à la dilatation; mais, comme nous l'avons dit, la température de plus en plus basse des couches atmosphériques que traverse l'air ascendant, diminue cette dilatation en refroidissant par contact la masse d'air chaud, et peut-être le nombre 6°,3 n'est-il pas très-éloigné de la vérité.

Mes amis MM. Favre et Silbermann ont fait des expériences analogues

aux miennes : leurs résultats sont consignés dans les *Annales de physique et de chimie*, 2e série, tom. XXXVII, et dans le *Traité de physique* de M. Daguin, tom. II, pag. 61. Ils employaient un corps de pompe à l'intérieur duquel se trouvait un thermomètre de Breguet, et comprimaient ou dilataient brusquement l'air dans le corps de pompe. Leurs expériences se compliquent, comme les miennes, de l'influence des parois métalliques de l'appareil; cependant nos résultats sont très-concordants : sous une pression comprise entre une atmosphère et une atmosphère et demie, ils trouvent que l'air se refroidit de 2°,0 pour une diminution de pression de 100 millimètres; je trouve pour la même diminution de pression un abaissement de température de 2°,1.

D'un autre côté, M. Wolf, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier, a bien voulu, à ma prière, calculer quelle serait théoriquement le refroidissement de l'air pour une diminution de pression de 100 millimètres. a étant le coefficient de dilatation de l'air; t la température d'une masse donnée d'air sous la pression H; la variation de pression $\frac{a}{1+at}$ produit une variation de température de 0°,421, et pour une diminution de pression de 100 millimètres un froid de 3°,7, nombre plus fort que ceux obtenus par MM. Favre, Silbermann et moi. En résumé, le décroissement moyen de la température avec la hauteur, étant de 1° centigrade pour 180 mètres, la fraction due à la dilatation de l'air serait 0°,32, d'après les expériences de MM. Favre, Silbermann et les miennes; elle s'élèverait à 0°,39, d'après les calculs de M. Wolf[1].

---

[1] La différence de niveau correspondante à une diminution de pression de 100m se rapporte au 45e degré de latitude et a été prise dans la Table hypsométrique de M. Delcros. (*Annuaire météorologique de la France*, tom. I, pag. 53; 1849.

TABLEAU

Des accroissements de la température de l'air sous des pressions croissant de 50mm en 50mm depuis 759mm jusqu'à 1m, 059 et de son refroidissement, la pression revenant successivement de 1m,059 à 759mm.

PRESSIONS en millimètres... — DATES des expériences. 1839	ACCROISSEMENT DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE.							DÉCROISSEMENT DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE.						TEMPÉRATURES MOYENNES de l'air ambiant extérieur à l'appareil.
	759	809	859	909	959	1009	1059	1009	959	909	859	809	759	
	TEMPÉRATURES DE L'AIR COMPRIMÉ.							TEMPÉRATURES DE L'AIR DILATÉ.						
1er avril...	12°,4	13°,0	13°,7	13°,3	13°,4	13°,3	13°,0	13°,7	12°,8	9°,6	8°,1	7°,3	7°,1	13°,4
Id.....	10,7	12,2	13,3	13,4	13,8	13,9	13,9	10,8	10,2	10,2	10,0	10,1	10,3	12,3
11 mai....	20,6	21,9	23,1	23,8	24,1	24,1	24,0	20,0	18,3	17,3	17,1	17,1	17,3	20,9
24 mai....	20,3	21,6	22,7	23,6	24,0	24,2	24,1	19,4	18,2	17,0	16,3	16,0	16,0	20,1
28 mai....	18,1	19,6	20,6	21,1	21,3	21,6	21,8	18,3	17,1	15,9	15,2	14,9	14,8	19,3
31 mai....	18,2	19,8	21,1	22,0	22,0	22,6	22,6	18,3	16,9	16,0	15,3	14,6	14,3	19,0
13 juin....	18,7	19,2	20,8	21,7	22,2	22,6	22,6	19,1	18,1	17,3	16,9	16,6	16,2	19,5
Id......	18,8	20,0	21,1	22,2	22,6	22,7	22,7	20,3	18,4	17,2	16,4	16,0	15,7	20,4
17 juin....	23,3	24,6	25,6	26,1	26,2	26,2	26,2	22,7	21,6	20,9	20,6	20,3	20,4	24,2
19 juin....	22,0	23,0	24,3	25,2	25,7	25,9	25,7	21,3	20,4	20,1	20,0	19,8	19,7	22,2
27 juin....	24,1	25,3	26,7	27,1	27,2	27,1	26,9	23,6	22,9	22,7	22,7	21,6	21,7	24,1
Id......	23,9	24,0	25,3	26,7	27,2	27,3	27,3	24,0	23,0	22,3	22,1	21,9	21,8	24,3
6 juillet...	29,6	30,5	31,4	32,0	32,0	31,9	31,6	28,6	27,7	27,2	27,1	27,2	27,1	30,0
Moyennes..	20,03	21,18	22,38	23,09	23,36	23,50	23,42	20,03	18,89	17,93	17,52	17,18	17,11	20,76

CONDITIONS SUBJECTIVES QUI MODIFIENT LA SENSATION DU FROID.

DES CAUSES GÉNÉRALES.

Dans les paragraphes précédents, nous avons analysé les conditions météorologiques qui déterminent la sensation du froid sur la peau, ou, en d'autres termes, les conditions objectives de cette sensation. Il nous reste à analyser les causes dépendantes des conditions physiologiques de l'individu, de sa race, de sa constitution, de l'état de ses fonctions digestives ou respiratoires, en un mot les causes subjectives de la sensation du froid.

Il est des populations moins sensibles au froid les unes que les autres, et, chose singulière ! ce sont les populations méridionales. Dans le Nord on est frappé de voir les épaisses fourrures dont se couvrent les Russes, les Suédois, les Norvégiens, par des températures où en France on se contente d'un simple surtout. Je n'oublierai jamais la chaleur étouffante qui régnait dans les chambres des paysans Finlandais, le long du fleuve Muonio, en septembre 1859 ; elle s'élevait en général à 20° et 25° centigrades, et, non contents de cette température, ces paysans couchaient autour du poêle ; quant à Auguste Brayais et moi, nous préférions dormir dans la grange, où le thermomètre oscillait autour de zéro pendant la nuit. Quand ils sortaient, ces mêmes hommes étaient couverts de vêtements très-chauds. Depuis que j'habite Montpellier, je suis surpris de voir combien les gens du peuple sont indifférents au froid. Les portes, les fenêtres restent ouvertes avec les températures voisines de zéro ; ils sont peu vêtus et les maisons semblent avoir été construites dans le seul but de préserver leurs habitants de la chaleur ; or, en hiver les nuits sont sereines et froides, le thermomètre descend plus souvent au-dessous de zéro qu'à Paris, et cependant rien n'est disposé en prévision du froid. Aussi les Russes, les Suédois et les Polonais qui viennent passer l'hiver à Montpellier, se plaignent-ils de grelotter dans les appar-

tements, tandis qu'en plein air, par un beau soleil, ils peuvent se croire au printemps et quelquefois même en été ; mais les maisons, refroidies dans la nuit par le rayonnement, ne se réchauffent pas suffisamment pendant le jour, quand elles ne sont pas situées en plein midi. J'ai fait les mêmes remarques à Constantinople ; il y neige tous les hivers, et néanmoins les Orientaux, qui recherchent avec tant de sensualité la fraîcheur en été, semblent indifférents aux rigueurs de l'hiver. Les Arabes de l'Algérie bivouaquent en plein air, couverts de leurs bournous, et ce fut les Turcos qui supportèrent le mieux les deux rudes hivers du siége de Sébastopol.

Il faut s'avancer jusque dans le nord de la France pour trouver des aménagements convenables contre le froid. Paris est à peu près sur la limite des deux régions, et participe de l'une et de l'autre. Plusieurs faits confirment ce que j'avance sur la moindre impressionnabilité des habitants de l'Europe méridionale. Dans la fatale campagne de Russie, on a constaté avec étonnement que les régiments italiens résistaient mieux que les allemands, et l'on sait maintenant que le froid a fait des ravages immenses dans l'armée russe. Mon ancien collègue des hôpitaux de Paris, le docteur Rufz, qui a pratiqué vingt-cinq ans la médecine à la Martinique, étant revenu habiter Paris, m'a assuré avoir été peu sensible au froid le premier hiver, davantage le second, et encore plus le troisième ; d'autres colons m'ont confirmé ce fait. Il semblerait que la provision de chaleur faite pendant de longues années, ne s'épuise que lentement ; de même que l'individu qui sort d'un appartement chauffé, sent beaucoup moins le froid extérieur que celui qui est resté dans une chambre dont la température est peu différente de celle du dehors. La résistance au froid varie également d'un individu à l'autre, sans que l'apparence extérieure, le tempérament, la constitution, rendent toujours compte de cette réaction. Le célèbre navigateur des mers polaires, sir John Ross, me racontait à Stockholm, qu'avant de partir pour ses expéditions, il éprouvait la résistance au froid des matelots, en leur faisant poser un pied nu sur la glace ; ceux qui ne tremblaient ni ne pâlissaient, étaient choisis par lui, les autres refusés.

Il me reste à examiner quelques conditions physiologiques de la résistance au froid. Chacun sait que l'exercice est un des plus puissants moyens de calorification. La température, après la marche, s'élève dans toutes les

parties du corps, de manière à devenir sensible au thermomètre. On trouvera dans le livre sur la chaleur animale, de M. Gavarret[1], les expériences faites à ce sujet par Davy, Becquerel, Spallanzani et Prout. Ce réchauffement est dû à l'accélération de la respiration et à la combustion plus active du carbone. L'influence de l'âge reconnaît la même cause. Si le vieillard se refroidit plus vite que le jeune homme, c'est que sa respiration est moins fréquente et sa combustion pulmonaire moindre, comme MM. Andral et Gavarret l'ont parfaitement démontré[2]. On conçoit aussi très-bien que la chaleur soit moindre dans le sommeil que dans l'état de veille. M. Chossat l'a prouvé en expérimentant sur des pigeons[3]. L'influence de l'alimentation a été également démontrée pour la quantité de matière nutritive, par Hunter, Chossat et moi-même[4]; pour la nature des matières alimentaires, par MM. Regnault, Boussingault et Marchand. M. Gavarret a si bien analysé ces travaux dans son ouvrage[5], que je crois inutile d'insister sur ce sujet. Je me bornerai à quelques observations que j'ai pu faire sur moi-même et sur d'autres, quant à l'influence de l'alimentation dans les pays froids. Une alimentation insuffisante est une des plus mauvaises conditions pour braver le froid, et ceux qui succombent à son influence sont ordinairement à jeun ou mal nourris. Tous les hivers, on entend parler de mendiants, de vagabonds morts de froid. Je suis convaincu que, dans les mêmes circonstances, un homme bien nourri n'eût pas succombé. C'est surtout le manque d'aliments riches en carbone, tels que la graisse, l'huile et l'alcool, qui prédispose aux impressions du froid. Le vin et la graisse sont des aliments essentiellement calorificateurs. On l'éprouve par soi-même dans les régions boréales. Les Esquimaux avalent des quantités d'huile et de graisse étonnantes, et rien ne prépare aussi bien qu'un repas de viande arrosé de vin généreux à réagir contre le froid. Je respecte profondément les nobles intentions qui ont dicté les prescriptions sévères et absolues des Sociétés de tempérance, je me joins à elles pour repousser l'usage des liqueurs fortes; mais vouloir priver de vin

---

[1] Page 370.

[2] *Ibid.*, pag. 351.

[3] *Mémoires des savants étrangers*, 1843.

[4] *Mémoire sur la température des palmipèdes*, pag. 15.

[5] Page 385.

des hommes exposés au froid *humide* est un contre-sens hygiénique. M. Ed. Desor a éprouvé par lui-même combien le froid *sec* des États-Unis et du Canada était tonique et excitant. On peut le supporter sans que l'estomac soit réchauffé par le vin; le thé suffit. Il n'en est pas de même du froid humide de la Norvège, de la Laponie, de l'Islande et du Spitzberg, qu'on ne saurait braver longtemps qu'à l'aide de vins généreux. La passion des Lapons pour les boissons alcooliques n'est que l'expression exagérée d'un besoin réel.

CAUSES PHYSIOLOGIQUES DE FROID SPÉCIALES AUX HAUTES MONTAGNES.

L'homme placé sur une haute montagne est soumis à toutes les causes de froid thermométrique que nous avons signalées : 1° le faible échauffement de l'air raréfié, soit directement par le soleil, ou indirectement par le sol; 2° le rayonnement nocturne si intense, qui abaisse fortement la température de l'un et de l'autre ; 3° la dilatation de l'air qui s'élève de la plaine le long des flancs de la montagne ; 4° l'évaporation active du sol. A ces causes de froid thermométrique vient s'ajouter la plus forte de toutes celles qui déterminent la sensation physiologique du froid, l'agitation de l'air.

Si l'air est rarement immobile dans la plaine, on peut dire qu'il ne l'est presque jamais sur les sommets isolés des montagnes. Pendant les jours les plus calmes de la plaine, il règne un vent fort sur les sommets. Ainsi, à Chamounix, par les belles journées d'été, lorsque pas une feuille ne remue dans la vallée, on voit la neige emportée par le vent de Nord-Est au sommet du Mont-Blanc ; on dit alors qu'il *fume sa pipe*, et c'est un signe de beau temps.

Qu'on me permette de rappeler à ce sujet un souvenir auquel se rattache celui de deux amis, MM. Bravais et Lepileur. Le 29 septembre 1844, nous montions du grand plateau vers le sommet du Mont-Blanc[1], dans un couloir de neige où nous étions abrités complètement du vent du N.-O., qui soufflait par rafales. Nous n'éprouvions aucune sensation de froid, mais seulement

---

[1] Voyez ce récit dans le journal l'*Illustration* du 5 octobre 1844, et une Étude sur les effets physiologiques éprouvés par nous, dans la *Revue médicale*, nouvelle série, tom. II, pag. 55 et 196; 1845.

l'essoufflement et la lassitude dus à la raréfaction de l'air, car nous étions dans une région comprise entre 4000 et 4800 mètres. Arrivés au-dessus des *Rochers rouges*, à environ 4600 mètres, nous fûmes brusquement exposés à une rafale de N.-O. La caravane éprouva une sensation de froid tellement vive et subite, qu'il nous semblait que le vent avait emporté tous nos vêtements, et cependant il n'avait emporté que quelques chapeaux. Heureusement ce vent se calma lorsque nous atteignîmes le sommet du Mont-Blanc, sans quoi nous eussions eu de la peine à faire nos expériences, car la température de l'air était de — 8°,0 à l'ombre et de — 6°,3 au soleil, et la neige sur laquelle nous marchions marquait — 8°,0 à sa surface et — 14°,0 à deux décimètres de profondeur. Ces basses températures de la neige sur laquelle on marche, à des hauteurs supérieures à 3000 mètres, sont une cause puissante de refroidissement. Sur le nevé, où les pieds n'enfoncent pas, la sensation de froid est supportable. Il n'en est pas de même quand on enfonce dans la neige fine et poussiéreuse dont nous avons parlé pag. 32. Ainsi, au grand plateau du Mont-Blanc, à 3950 mètres au-dessus de la mer, sa température à 2 décimètres n'était jamais au-dessus de — 8°,2, et dans la nuit elle descendait au-dessous de — 10°. On conçoit combien les pieds doivent se refroidir, lorsque l'on monte ainsi lentement, enfonçant à chaque pas dans une neige dont la température est aussi basse. Les orteils sont comprimés par le cuir gelé des souliers, et l'on ressent une sensation de froid qui est une véritable souffrance. La congélation des orteils arrive quelquefois : c'est le danger le plus sérieux des ascensions sur les hautes montagnes. M. de Tilly eut plusieurs orteils gelés dans son ascension au Mont-Blanc, le 9 octobre 1834. Il ne faut souvent pas longtemps pour amener les premiers symptômes : ainsi, le 30 août 1844 au soir, je montai avec Auguste Bravais sur le dôme du Goûté ; nous étions à 120 mètres au-dessus du grand plateau de neige où notre tente était dressée, ou à 4050 mètres au-dessus du niveau de la mer. Nous y restâmes de cinq heures et demie à sept heures trois quarts. Bravais étudiait à l'aide du théodolithe les phénomènes crépusculaires ; j'écrivais sous sa dictée, mais en ayant soin de trépigner pour empêcher mes pieds de se refroidir complètement. La température de l'air varia de — 4°,8 à — 6°,3; celle de la neige était de —9°,0. Bravais ne sentait plus ses orteils ; ils étaient froids et blancs comme la cire. Nous y fîmes revenir la circulation et la cha-

leur en les frottant avec de la neige, puis avec de la laine. On sait que de nombreux cas de congélation des extrémités ont eu lieu devant Sébastopol, pendant les deux hivers que les armées alliées passèrent devant cette nouvelle Troie. Ils ne sont pas rares en Afrique, lorsque des corps de troupes traversent des plateaux ou des cols de montagnes couverts de neige. Dans ces cas, la neige fondante est encore plus dangereuse que la neige pulvérulente. En effet, en passant de l'état solide à l'état liquide, la neige, comme on le sait, absorbe la chaleur de tous les corps en contact avec elle; cette chaleur de fusion devient latente, et il en résulte un refroidissement continu des pieds du fantassin. La neige fondante a tous les inconvénients du froid humide; elle est bonne conductrice de la chaleur, tandis que la neige pulvérulente ne l'est pas; elle pénètre les chaussures les plus imperméables, et produit tous les fâcheux effets de l'application du froid humide sur les extrémités inférieures. La boue des grandes villes du Nord reproduit en petit ces effets, sauf qu'elle n'agit que par sa température, sa conductibilité et son humidité propre, tandis que la neige en fusion opère une soustraction incessante et inévitable de calorique aux corps en contact avec elle.

Nous avons vu (pag. 35) que les alternatives de sécheresse et d'humidité étaient beaucoup plus fortes sur les montagnes que dans la plaine. Les sensations qu'on éprouve au milieu d'un nuage sont celles du froid humide résultant de l'impression d'un air saturé d'eau sur la peau et de la meilleure conductibilité de cet air pour la chaleur; de là un froid physiologique très-notable. Dans le cas de grande sécheresse, la transpiration s'évapore rapidement, d'où perception de froid. Si la sécheresse est extrême, la peau se fendille, les lèvres se gercent et de légers érythèmes se produisent sur le visage, qui devient le siége d'une desquamation consécutive.

Parlons actuellement des causes physiologiques de froid, spéciales aux hautes montagnes.

L'acte de monter ou de descendre, beaucoup plus fatigant que la marche sur un plan horizontal, amène plus vite l'essoufflement et par suite la nécessité de s'arrêter. Un homme qui voudra s'échauffer par la locomotion, n'aura pas l'idée de grimper sur une montagne; il préférera une route bien unie de la plaine, afin de marcher vite et longtemps. Ces arrêts, déjà fréquents dans les basses montagnes, le deviennent encore bien plus si l'on

s'élève à de grandes hauteurs. Tout le monde sait, en effet, qu'à des élévations qui varient suivant les individus, de 2 000 à 4 000 mètres, on commence à éprouver des sensations pénibles, savoir : une anhélation extrême accompagnée de céphalalgie, d'envie de dormir, de nausées et d'une grande lassitude[1]. C'est le phénomène appelé *mal de montagne*, résultat complexe de la fatigue, de la diminution brusque de pression, mais surtout de la raréfaction de l'air. En effet, les physiologistes admettent que l'homme introduit moyennement un demi-litre d'air dans ses poumons dans une inspiration ordinaire ; l'oxygène de ce demi-litre d'air se combine avec le sang. Au bord de la mer, sous la pression de 760^{mm} de mercure, un demi-litre d'air pèse 0^{gr},65, et contient en poids 0^{gr},16 d'oxygène; sous une pression moindre, celle de 475^{mm}, par exemple, à laquelle nous avons été soumis pendant trois jours au grand plateau, le *volume* d'air inspiré est toujours le même; mais son poids ne l'est plus, car il se réduit à 0^{gr},40, et celui de l'oxygène que contient ce demi-litre d'air, n'est plus que de 0^{gr},10, et au sommet du Mont-Blanc, sous la pression de 420^{mm}, de 0^{gr},09. L'oxygénation du sang, et par suite la calorification, sont donc moindres qu'au bord de la mer, par ce fait seul que la quantité d'oxygène introduite dans le poumon est beaucoup plus petite. La respiration est moins parfaite, exactement comme dans un air vicié où la proportion d'oxygène serait plus faible que dans l'air normal. Cette cause toute physique avait déjà été indiquée par Hallé[2], Lombard[3], et Pravaz fils[4]. Je lui attribue comme eux les symptômes d'anhélation qu'on observe dans les ascensions brusques sur de hautes montagnes. Plus les fonctions respiratoires sont actives, moins les individus sont impressionnés, et plus ils peuvent s'élever haut sans éprouver de malaise. Chez tous ceux dont le cœur ou le poumon fonctionnent incomplètement, l'anhélation commence à de petites hauteurs. Les personnes affectées de maladies organiques du cœur, d'asthme ou de tubercules pulmonaires, sont

---

[1] Voyez sur ce sujet Lepileur ; Sur les phénomènes physiologiques qu'on éprouve en s'élevant à une certaine hauteur dans les Alpes (*Revue médicale*, 2e série, tom. II, pag. 55 et 341, 1845), et Mayer-Ahrens; *Die Bergkrankheit*, 1856.

[2] *Dictionnaire des sciences médicales*, art. Air, tom. I, pag. 248.

[3] *Les climats de montagnes*, pag. 45; 1858.

[4] *Des effets physiologiques et des applications thérapeutiques de l'air comprimé*, pag. 10; 1859.

déjà essoufflées en traversant le Saint-Bernard (2 472m), et même le Simplon (2 005m). Vainement objecterait-on que sur les hautes montagnes le nombre des inspirations supplée à la moindre proportion d'oxygène du volume d'air inspiré. Quiconque a par lui-même éprouvé les inspirations courtes, précipitées, sans ampliation convenable du thorax, qui accompagnent l'essoufflement pendant ou immédiatement après une ascension, a conservé le sentiment que ces inspirations hâtives ne sauraient avoir l'effet calorifique des inspirations régulières. Aussi l'anhélation cesse-t-elle du moment qu'on s'arrête, et une respiration régulière, mais plus fréquente que dans la plaine, supplée en partie à la moindre quantité d'oxygène : je dis en partie, car pour y suppléer totalement, il faudrait qu'au grand plateau, par exemple, le nombre des inspirations fût à celui de la plaine comme 8 : 5, c'est-à-dire proportionnel aux quantités d'oxygène inspirées. Or, cela n'est pas : l'accélération, dans l'état de repos, n'atteint certainement pas un tiers en sus. La moindre oxygénation du sang n'est donc pas compensée par la fréquence des inspirations, et devient une cause physiologique de froid spéciale aux hautes régions, et probablement la principale de toutes celles qui amènent les symptômes connus sous le nom de *mal de montagne*.

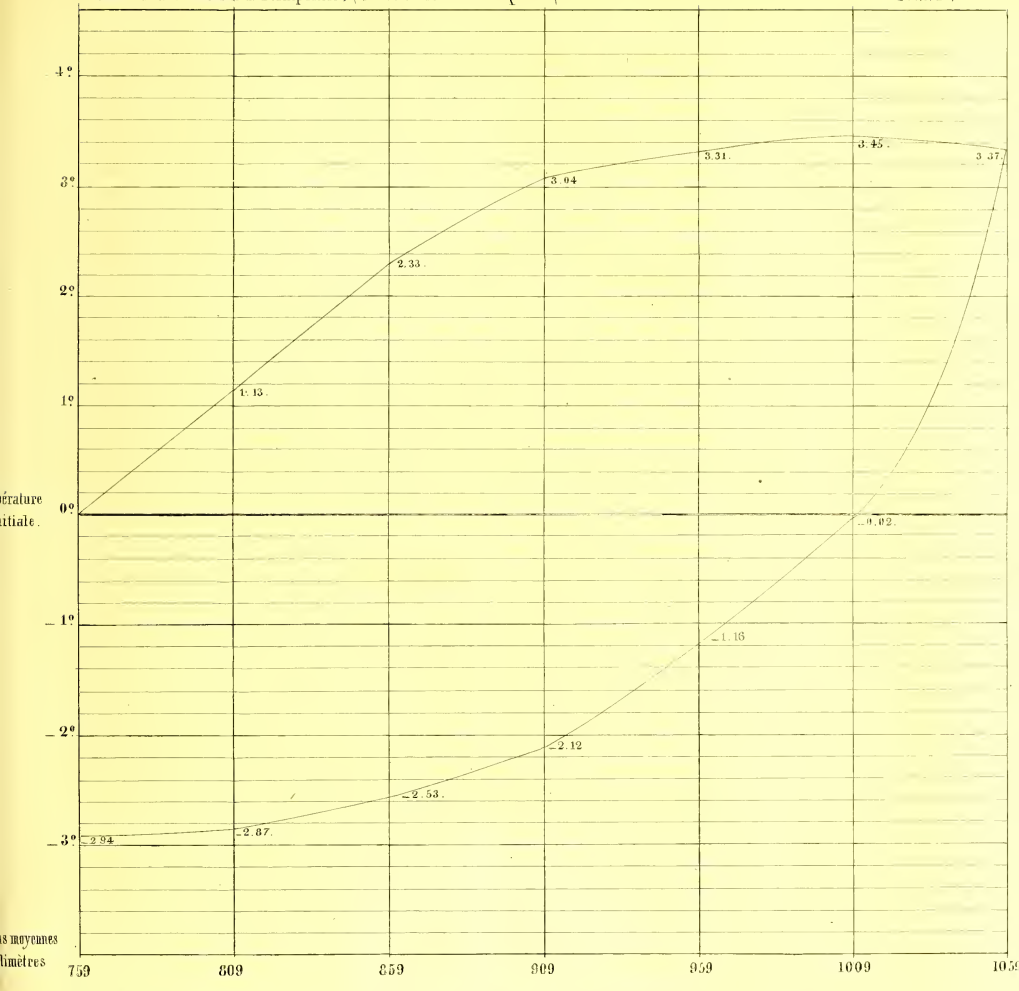
Comment la mort arrive-t-elle par le froid ?

J'ai assez souvent essuyé le mauvais temps sur les glaciers et les champs de neiges éternelles des Alpes et du Spitzberg; j'ai lu et entendu assez de récits de ces morts tragiques, pour pouvoir m'en faire une idée. Imaginez un voyageur isolé, ou une petite caravane voulant traverser l'un des cols couverts de neiges éternelles, qui conduisent du Valais en Piémont ou de France en Espagne. Nous sommes en hiver ou au commencement du printemps ou à la fin de l'automne ; le trajet est long, le temps incertain ; les voyageurs ne sont pas parfaitement familiarisés avec le pays ; ils partent : le ciel se couvre de nuages qui, s'abaissant peu à peu, les enveloppent dans une brume épaisse : ils marchent dans la neige, suivant la trace des pas des voyageurs qui les ont précédés ; mais bientôt d'autres traces croisent celles sur lesquelles ils se guident, ou bien une neige récente a effacé toute empreinte. Ils s'arrêtent, hésitent, reviennent sur leurs pas, se dirigent tantôt à droite, tantôt à gauche, s'orientent d'après un sommet qu'ils entrevoient à travers le brouillard. Cependant la neige commence à tomber, non

pas floconneuse comme dans la plaine, mais granuleuse, sèche, semblable au grésil ; chassée par le vent, elle pénètre jusqu'à la peau, à travers les vêtements les mieux fermés : fouettant incessamment le visage, elle produit un étourdissement permanent qui dégénère bientôt en vertige. Alors le pauvre voyageur, transi, égaré, harassé, ne voyant pas à deux pas devant lui, est pris d'un besoin de dormir irrésistible; il sait que ce sommeil c'est la mort ; mais, perdu, désespéré, il cherche en tâtonnant quelque rocher, et, s'abandonnant pour ainsi dire lui-même, il se couche pour ne plus se relever. Son pouls se ralentit peu à peu, comme dans la léthargie, et il meurt de froid, comme l'on meurt d'inanition. L'énergie morale est dans ces moments l'unique moyen de salut : il faut à tout prix combattre le sommeil, marcher, trépigner et lutter contre le froid par l'exercice musculaire. Jacques Balmat, qui le premier, en 1786, fit l'ascension du Mont-Blanc, le savait bien. Il était parvenu seul au grand plateau, à 3930 mètres. Là il fut surpris par la nuit. Monter au sommet dans l'obscurité était impossible, redescendre l'était également. Il prit vaillamment son parti, et se promena de long en large sur la neige, jusqu'à ce que l'aube eût paru.

Dans nos deux premières tentatives pour parvenir au sommet du Mont-Blanc, le 1er et le 8 août 1844, nous arrivâmes jusqu'au grand plateau et dressâmes notre tente sur la neige : le 1er août une chute de neige abondante nous força de redescendre ; la seconde fois nous essuyâmes pendant la nuit un véritable orage, le vent soufflait par rafales et menaçait d'emporter la tente qui se gonflait comme une voile; à chaque instant, nous pensions qu'elle allait être enlevée. Heureusement, M. Bravais avait eu l'idée de verser de l'eau sur les piquets que nous avions enfoncés dans la neige ; cette eau s'était gelée et les retenait fortement. Un bâton ferré planté dans la neige à quelque distance nous servait de paratonnerre, car nous étions entourés d'éclairs suivis instantanément d'un coup de tonnerre sec, sans roulement, preuve évidente que nous nous trouvions au milieu du nuage électrique. La neige tourbillonnant autour de la tente, n'eût pas permis de s'orienter ; nous délibérions avec nos guides sur la conduite à tenir, si la tente était emportée. En abordant le grand plateau, nous avions traversé une large crevasse, profonde de trois mètres environ. Par la boussole, nous savions dans quelle direction elle se trouvait, c'est là que nous devions nous réfugier, et,

nous serrant les uns contre les autres, nous eussions passé la nuit à piétiner sur place, jusqu'à ce que le jour fût venu. Heureusement la tente tint bon et nous n'eûmes pas besoin de recourir à cette chance extrême de salut. Ainsi, pour réagir contre le froid, dans les circonstances les plus défavorables où l'homme puisse se trouver, l'expérience est d'accord avec la physiologie, pour prouver que la jeunesse, une bonne alimentation, l'exercice musculaire et l'énergie morale, sont les moyens par lesquels il peut combattre et vaincre un des plus terribles ennemis contre lesquels il ait à lutter sur la terre.



La courbe supérieure représente l'accroissement moyen de la température avec la pression ; l'inférieure son décroissement lorsque la pression diminue.